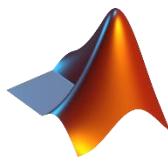


RMXplorer



LAB1: Sensor

สมาชิก

- นายภูนวัฒน์ บุญเกิด 66340500042
- นายภูษิณ ประเสริฐสม 66340500045
- นายรัชฎพงศ์ สายบุญรอด 66340500047

วัตถุประสงค์

- คณบัญชีจัดทำจะต้องสามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะ พฤติกรรมและปรากฏการณ์ รวมถึงการทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง โดยมีความเข้าใจในหลักการทำงานของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด นอกจากนี้ คณบัญชีจัดทำจะใช้ หลักการทำงานวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และวิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำได้อย่าง ถูกต้องและมีเหตุผลรองรับ พร้อมตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่เขียนถือได้
- คณบัญชีจัดทำจะสามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมด ตั้งแต่ต้นจน จบกระบวนการได้ เช่น การอธิบายหลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบาย การวัดน้ำหนักของ Load Cell (จากการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นน้ำหนัก)
- คณบัญชีจัดทำจะต้องสามารถกำหนดตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็นตัว แปรต้น ตัวแปรตาม หรือ ตัวแปรควบคุม โดยอธิบายจุดประสงค์การทดลองและสมมติฐานให้สอดคล้องกับ ตัวแปรที่กำหนด รวมถึงนิยามเชิงปฏิบัติการและมีทฤษฎีที่นำไปใช้รองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์หรือข้อมูล จาก Datasheet
- คณบัญชีจัดทำจะต้องสามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้อยู่ทั้งหมด ได้อย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมถึงบันทึกผล สรุปผล และอภิปรายผลตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มี กระบวนการทำซ้ำ และอธิบายที่มาของผลการทดลอง โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- คณบัญชีจัดทำจะต้องสามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ทั้งในด้าน ขนาดและรูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ และการเว้นระยะพิมพ์ เพื่อให้ดีร้ายที่ เหมาะสมตามหลักสากล

1. Potentiometer

1.1 จุดประสงค์

- คณผู้จัดทำจะดำเนินการตามการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลักเพื่อประเมินความเข้าใจในหัวข้อที่ศึกษา
- คณผู้จัดทำจะสามารถระบุชนิดของ Potentiometer ที่ใช้ในชุดการทดลองทั้งหมดได้
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Potentiometer ทุกตัวในชุดการทดลองได้
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าจากที่สัมพันธ์กับระยะทางหรือองศาการหมุนของ Potentiometer
- คณผู้จัดทำจะสามารถแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital โดยใช้จร Schmitt-trigger
- คณผู้จัดทำจะประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการควบคุมหรือรับค่าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Potentiometer ด้วยมือเป็น Input
- คณผู้จัดทำจะบันทึกสัญญาณ Digital เป็น Output เพื่อแสดงผลในรูปแบบกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink และแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output ปรับตัวตามสัญญาณ Input แบบ Real-Time

1.2 สมมติฐาน

1.2.1 การหมุนปรับค่าของ Potentiometer ทั้งประเภท Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันไฟฟ้า โดยคาดว่า การปรับตำแหน่งของระยะทางจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer

1.2.2 การระบุประเภทของ Potentiometer สามารถทำได้โดยการวัดและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าตามตำแหน่งการปรับของ Potentiometer กับข้อมูลใน Datasheet โดยคาดว่า การปรับตำแหน่งของระยะทางจะสอดคล้องกับคุณลักษณะเฉพาะของ Potentiometer แต่ละชนิดที่ระบุใน Datasheet

1.2.3 สามารถใช้จร Schmitt-trigger ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital และสามารถแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output ปรับตัวตามสัญญาณ Input แบบ Real Time

1.3 ตัวแปร

1.3.1 ตัวแปรของการทดลองระบุชนิดของ Potentiometer

1.3.1.1 ตัวแปรต้น

ระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer แต่ละชนิด (Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer)

1.3.1.2 ตัวแปรตาม

ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการปรับ Potentiometer แต่ละชนิด

1.3.1.3 ตัวแปรควบคุม

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบหรือบอร์ด Nucleo STM32G474RE

1.3.2 ตัวแปรของการทดลองวงจร Schmitt-trigger

1.3.2.1 ตัวแปรต้น

สัญญาณ Input Analog ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าสู่วงจร Schmitt-trigger โดยมีค่าต่างตามช่วงแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

1.3.2.2 ตัวแปรตาม

สัญญาณ Output Digital ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจากการของ Schmitt-trigger โดยแสดงสถานะเป็นค่า High หรือ Low โดยขึ้นอยู่กับการแปลงจากสัญญาณ Input Analog

1.3.2.3 ตัวแปรควบคุม

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบหรือบอร์ด Nucleo STM32G474RE

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

- ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean): ค่าที่ได้จากการหารผลรวมของชุดข้อมูลด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด
- ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS): ค่าที่ใช้วัดขนาดเฉลี่ยของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลง โดยคำนวณจากการหารผลรวมของกำลังสองของข้อมูลด้วยจำนวนข้อมูลและถอดรากที่สอง
- สัญญาณ Analog: สัญญาณที่มีความต่อเนื่องและสามารถมีค่าใดๆ ในช่วงที่กำหนด
- สัญญาณ Digital: สัญญาณที่มีสองสถานะคือ 0 และ 1
- วงจร Schmitt-trigger: วงจรที่แปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ที่ชัดเจนขึ้นโดยใช้เกณฑ์สองระดับ
- Low Profile Slide Potentiometer: อุปกรณ์ปรับค่าแรงดันแบบเลื่อนที่มีขนาดบาง
- Rotary Potentiometer: อุปกรณ์ปรับค่าแรงดันแบบหมุน ใช้ในการควบคุมค่าความต้านทานในวงจร อิเล็กทรอนิกส์ มีหลายรูปแบบ เช่น Audio Taper, Linear Taper, และ Reverse Audio Taper
- Nucleo STM32G474RE: บอร์ดพัฒนาที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 เพื่อช่วยในการประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

- Linear Potentiometer หมายถึง อุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานตามระยะทางการเลื่อนแกนในแนวเส้นตรง
- Rotary Potentiometer หมายถึง อุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามองศาการหมุนแกน

- การหมุนหรือเลื่อนของ Potentiometer หมายถึง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแกน Potentiometer ซึ่งในกรณีของ Linear Potentiometer จะวัดเป็นระยะทางในการเลื่อน โดยใช้ไม้บรรทัดหรือเครื่องวัดระยะที่มีความละเอียด ส่วนในกรณีของ Rotary Potentiometer จะวัดเป็นองศาการหมุน โดยใช้ค่าของสเกลของการหมุนที่ให้มากับชุดการทดลองในการวัด
- ค่าแรงดันไฟฟ้า หมายถึง แรงดันที่วัดได้ที่ปลายขั้วของ Potentiometer โดยรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer และแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

คือค่าที่ได้จากการหาผลบวกของชุดข้อมูลที่เป็นตัวเลขแล้วหารด้วยจำนวนของชุดข้อมูล
สูตรในการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตคือ:

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{\sum \text{ค่าของตัวเลขทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัวเลขทั้งหมด}}$$

1.6.2 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS)

ค่าเฉลี่ยกำลังสอง คือค่าที่ใช้วัดขนาดเฉลี่ยของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมา สูตรในการหาค่าเฉลี่ยกำลังสองคือ:

$$\text{ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2}{n}}$$

x_i คือ ค่าของข้อมูลในชุดข้อมูล

n คือ จำนวนของข้อมูล

1.6.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นตัวชี้วัดที่ใช้วัดการกระจายตัวของข้อมูลในชุดข้อมูลนั่น ๆ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานวิเคราะห์ว่า ข้อมูลแต่ละค่ามีความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด

สูตรการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

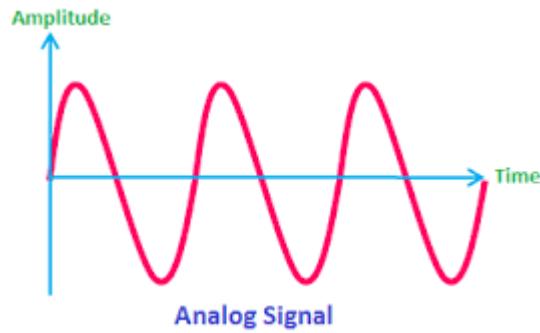
x_i คือ ค่าของข้อมูลแต่ละตัวในชุดข้อมูล

μ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

1.6.4 สัญญาณ Analog

สัญญาณ Analog คือสัญญาณที่มีความต่อเนื่องและมีขนาดสัญญาณที่ไม่คงที่

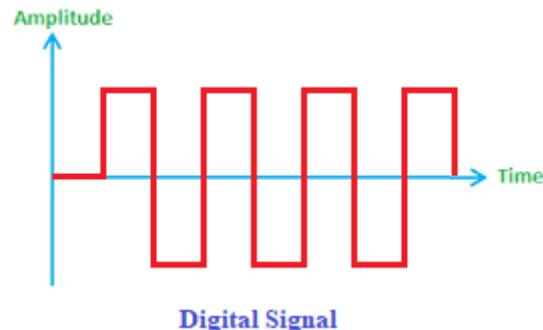


รูปแสดง สัญญาณ Analog

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132>

1.6.5 สัญญาณ Digital

สัญญาณ Digital คือสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง แต่มีขนาดที่แน่นอน แบ่งเป็นสองสถานะ คือ 0 กับ 1 ซึ่งจะมีระดับแรงดันที่ตั้งไว้เพื่อกำหนดสถานะของสัญญาณ

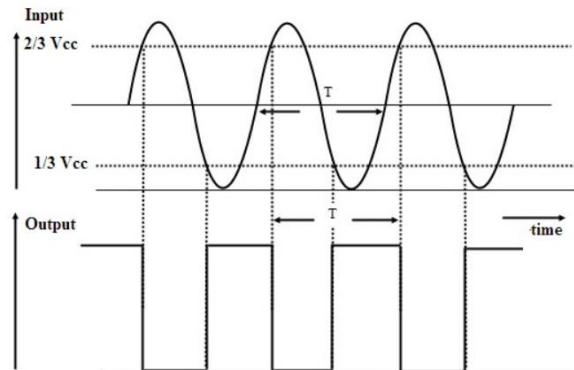


รูปแสดง สัญญาณ Digital

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132>

1.6.6 วงศ์ Schmitt-trigger

Schmitt-trigger คือวงจรที่ทำหน้าแปลงสัญญาณอินพุตแบบแอนะล็อก (Analog) ที่อาจมีสัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณเอาท์พุตดิจิทัล (Digital) ที่มีค่าเป็น 0 (Low) หรือ 1 (High) ทำให้ค่ามีความซัดเจนมากขึ้น โดยวงจร Schmitt trigger จะมีเกณฑ์สองระดับคือ:



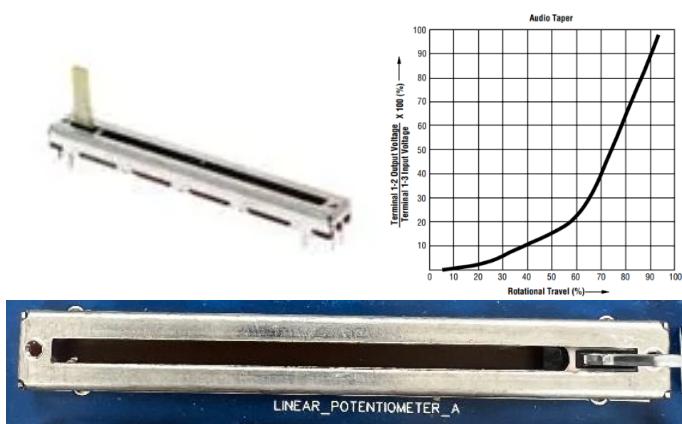
รูปแสดง เอาร์พุต Schmitt-trigger

<https://th.fmuser.net/wap/content/?21083.html>

- Upper threshold เมื่อสัญญาณอินพุตเพิ่มจนถึงเกณฑ์ เอาร์พุตจะเปลี่ยนจาก Low เป็น High
- Lower threshold เมื่อสัญญาณอินพุตลดลงจนต่ำกว่าเกณฑ์ เอาร์พุตจะเปลี่ยนจาก High เป็น Low

1.6.7 วัสดุอุปกรณ์

1.6.7.1 PTA6043-2015DPA103

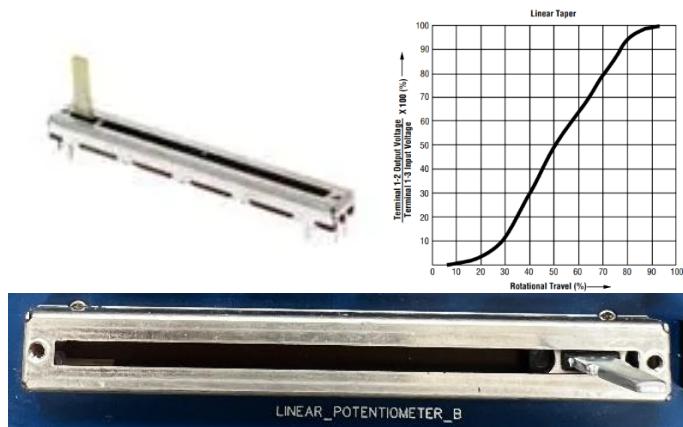


รูปแสดง Potentiometer ชนิดPTA6043-2015DPA103 และกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อ
ระยะการเลื่อนของตำแหน่ง <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>

- ประเภท: Low Profile Slide Potentiometer
- ความต้านทาน: $10k\Omega$
- ความยาว: 75 mm

- ความกว้าง: 9 mm
- ความสูง: 6.5 mm
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Audio
- Datasheet: <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>

1.6.7.2 PTA6043-2015DPB103



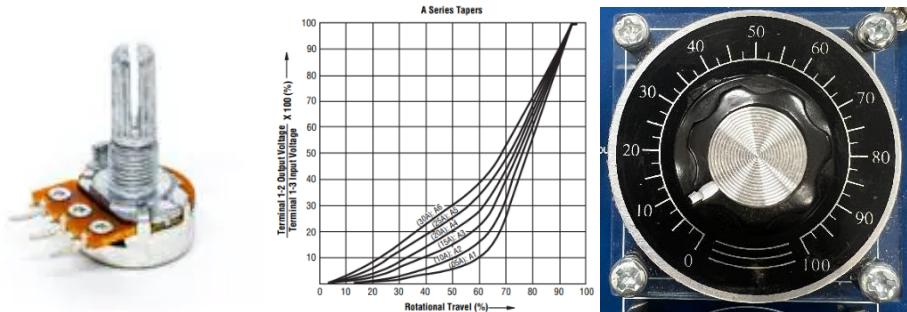
รูปแสดง Potentiometer ชนิดPTA6043-2015DPB103

และกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อระยะเวลาเรือนของตำแหน่ง

<https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>

- ประเภท: Low Profile Slide Potentiometer
- ความต้านทาน: $10k\Omega$
- ความยาว: 75 mm
- ความกว้าง: 9 mm
- ความสูง: 6.5 mm
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Linear
- Datasheet: <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>

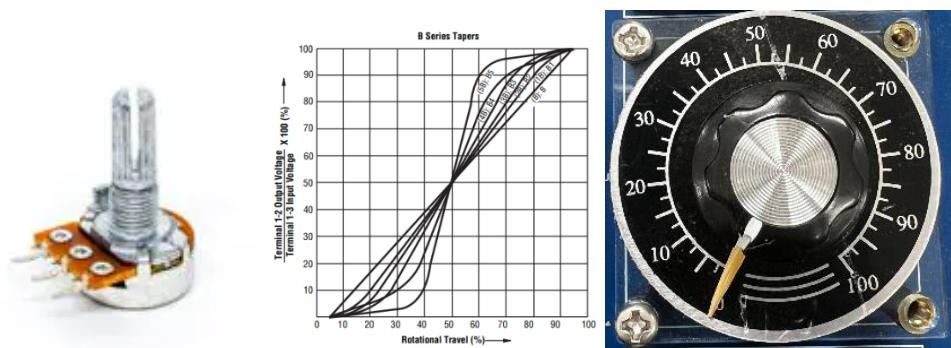
1.6.7.3 PDB181-K420K-103A2



รูปแสดง Potentiometer ชนิดPDB181-K420K-103A2 และกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อระยะเวลาการเลื่อนของตำแหน่ง <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

- ประเภท: Rotary Potentiometer
- ความต้านทาน: $10k\Omega$
- ขนาด: Diameter 6 mm
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Audio
- Datasheet: <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

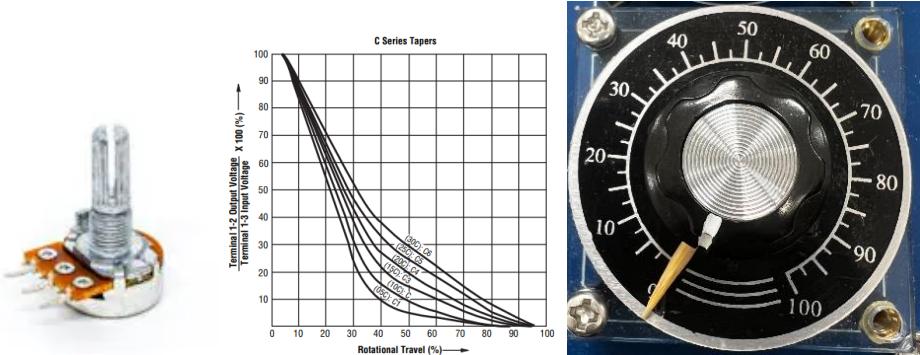
1.6.7.4 PDB181-K420K-103B



รูปแสดง Potentiometer ชนิดPDB181-K420K-103B และกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อระยะเวลาการเลื่อนของตำแหน่ง <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

- ประเภท: Rotary Potentiometer
- ความต้านทาน: $10k\Omega$
- ขนาด: Diameter 6 mm
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Linear
- Datasheet: <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

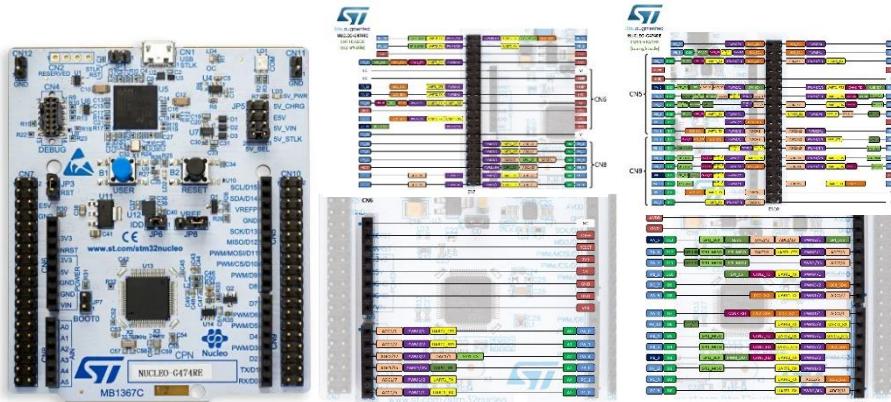
1.6.7.5 PDB181-K420K-103C



รูปแสดง Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103C และกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อระยะการเลื่อนของตำแหน่ง <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

- ประเภท: Rotary Potentiometer
- ความต้านทาน: $10k\Omega$
- ขนาด: Diameter 6 mm
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Reverse Audio
- Datasheet: <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

1.6.7.6 Nucleo STM32G474R



รูปแสดง Nucleo STM32G474RE

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากตระกูล STM32 ซึ่งใช้ชิป ARM Cortex-M4 ที่มีความเร็วสูงสุด 170 MHz หน่วยความจำ Flash ขนาด 512 KB และ RAM ขนาด 128 KB บอร์ดนี้ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีตัวเชื่อมต่อแบบ Arduino และ ST Zio ที่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังมี ST-LINK/V2-1 ในตัว ทำให้สามารถโปรแกรมและดีบักได้โดยไม่ต้องใช้

อุปกรณ์เพิ่มเติม รองรับการเขียนโปรแกรมผ่าน STM32CubeIDE เหมาะสำหรับการทำโปรเจกต์ที่ต้องการความแม่นยำ

1.7 วิธีดำเนินการทดลอง

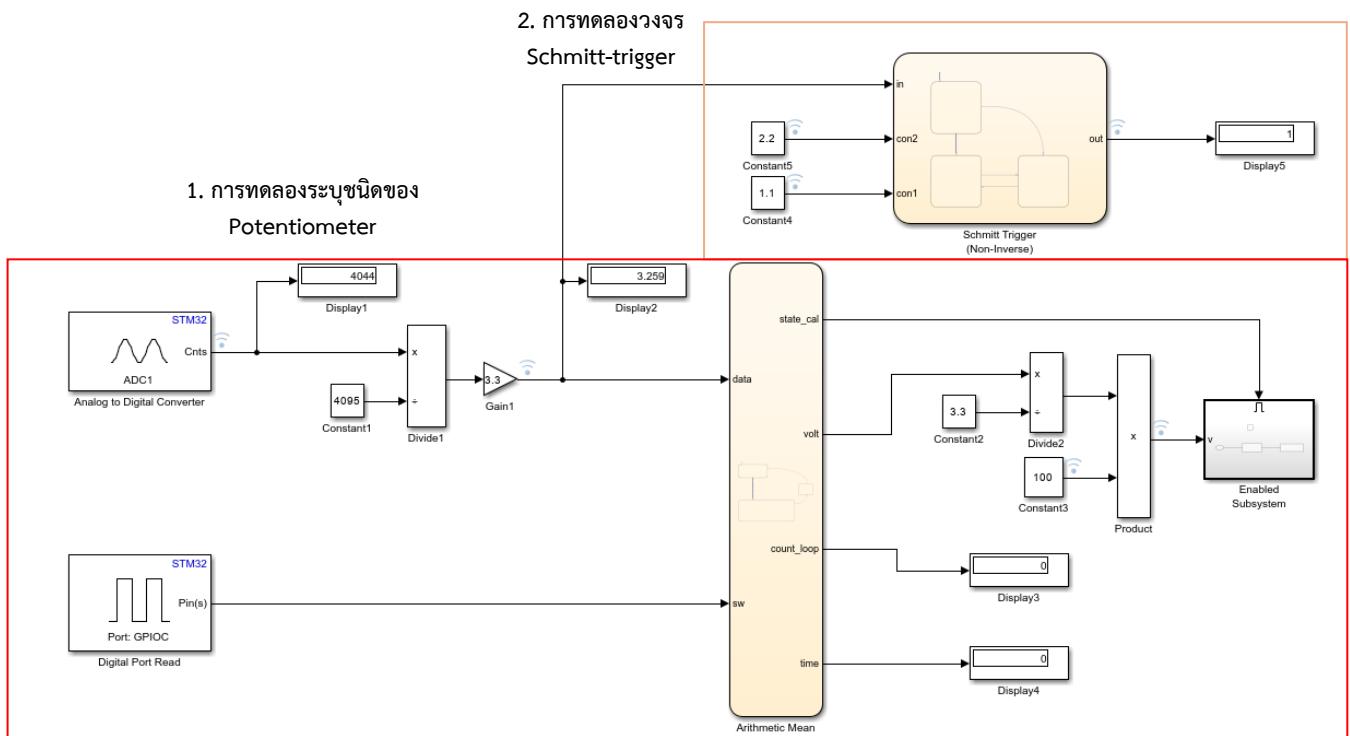
ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองในการระบุชนิดของ Potentiometer เพื่อทดสอบสมมติฐาน โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลการปรับค่าของ Potentiometer ทั้งสองประเภท ได้แก่ Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer โดยบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งการหมุนหรือการเลื่อน โดยมีการเก็บค่าจำนวน 500 ค่า ในแต่ละตำแหน่ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและเพิ่มความเสถียรของข้อมูล จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้าของ Potentiometer ที่ระบุไว้ใน Datasheet ของแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังมีการทดลองผ่านวงจร Schmitt-trigger ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital และสามารถแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยคณะผู้จัดทำได้นำ MATLAB และ Simulink มาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูล ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อช่วยในการประมาณผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1.8 วัสดุอุปกรณ์

- PTA6043-2015DPA103 จำนวน 1 ตัว
- PTA6043-2015DPB103 จำนวน 1 ตัว
- PDB181-K420K-103A2 จำนวน 1 ตัว
- PDB181-K420K-103B จำนวน 1 ตัว
- PDB181-K420K-103C จำนวน 1 ตัว
- Nucleo STM32G474RE จำนวน 1 ตัว
- สายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- PotenXplorer จำนวน 1 ชุด
- Jumper Wire Cable จำนวน 1 ชุด

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

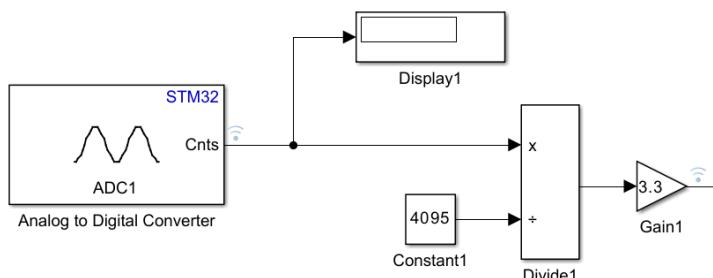


รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการทดลองที่ 2 การทดลอง

1.9.1 การทดลองระบุชนิดของ Potentiometer

ในการทดลองนี้ถูกแบ่งหลักการทำงานออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

1.9.1.1 การแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า



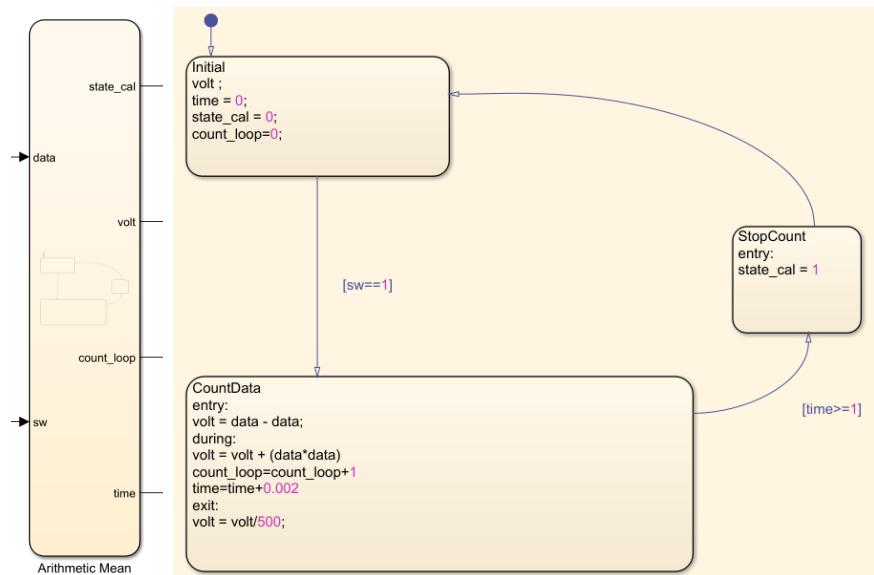
รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

- การรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer แต่ละชนิด โดยใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกจาก Potentiometer ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านและประมวลผลได้ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) โดยใช้บล็อก “Display1” แสดงค่าที่อ่านได้ ณ ขณะนั้น

2. การแปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่อ่านได้มาหารด้วย 4095 แล้วคูณด้วย 3.3 โดยใช้บล็อก “Constant1” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 4095, บล็อก “Divide1” สำหรับหารค่าดิจิทัลด้วย 4095 และบล็อก “Gain1” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 3.3 เพื่อแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt)

1.9.1.2 การนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์



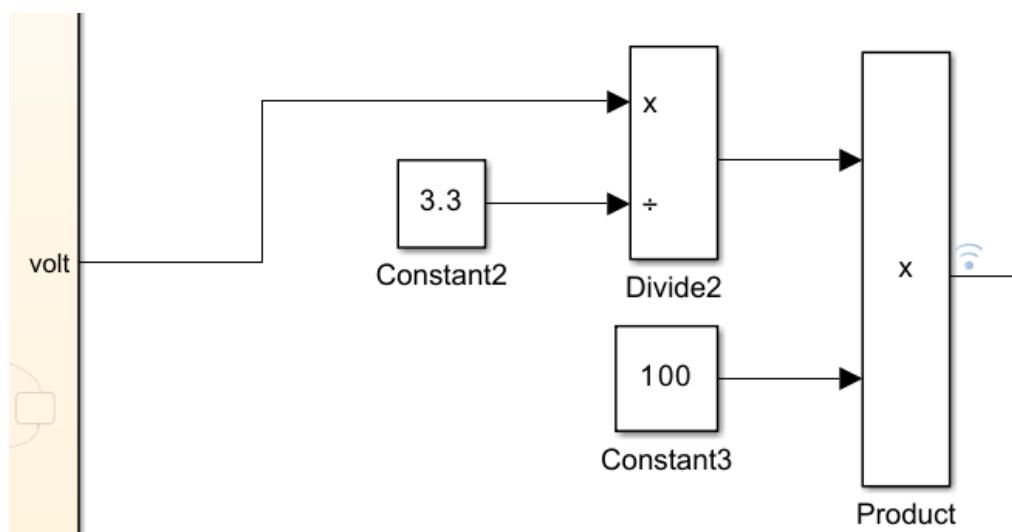
รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์

การบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งการหมุนจะโดยการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่ง เนื่องจากผลการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ตำแหน่งเดิมซ้ำๆ หายครั้งมีค่าที่อ่านได้แสดงถึงความแกว่งของข้อมูล จึงจำเป็นต้องนำค่าแรงดันจำนวนที่ตำแหน่งเดิม 500 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความคงที่มากยิ่งขึ้น

ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ได้มีการทดสอบการเก็บค่าของแรงดันจำนวน ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 700 ค่า ซึ่งพบว่า 500 ค่าดังกล่าวมีความเสถียรและคงที่สุดสำหรับการบันทึกค่าตำแหน่งเดิมของการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการนำค่าแรงดันจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากันในแต่ละตำแหน่ง ดังนั้นทีมผู้จัดทำจึงเลือกวิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 500 ค่า

โดยในบล็อกชาร์ต(chart) “Arithmetic Mean” จะมีการรับค่าของตัวแปร Input ซึ่งประกอบด้วย “data” ที่แทนค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ซึ่งได้มาจากการปรับค่าระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer และ “sw” ซึ่งเป็นค่าที่รับมาจากบล็อก “Digital Port Read” โดยมีหน้าที่ในการตรวจสอบสถานะของปุ่มกดบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE เมื่อมีการกดปุ่ม Digital Port Read จะส่งค่าเป็น HIGH หรือ 1 ไปยังชาร์ต “Arithmetic Mean” ซึ่งจะเริ่มต้นกระบวนการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 500 ค่าในตำแหน่งนั้นๆ ในระหว่างการวนลูป (Loop) เมื่อทำการวนลูปครบแล้ว จะมีการนำค่าที่เก็บมาหารด้วย 500 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน ณ ตำแหน่งนั้น ๆ หลังจากการคำนวณหากค่าเฉลี่ยเสร็จสิ้น จะมีตัวแปร Output คือ “state_cal” สำหรับบ่งบอกสถานะ โดยถ้าการคำนวณเสร็จสิ้น จะกำหนดให้ state_cal = 1, “count_loop” จะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งที่ทำการวนลูป, “time” จะแสดงระยะเวลาในการทำงานของระบบ และ “volt” จะแสดงค่าแรงดันเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 500 ค่า

1.9.1.3 นำค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยไปปรับอัตราส่วนเพื่อนำค่าไป Plot กราฟ และระบุชนิดของ Potentiometer

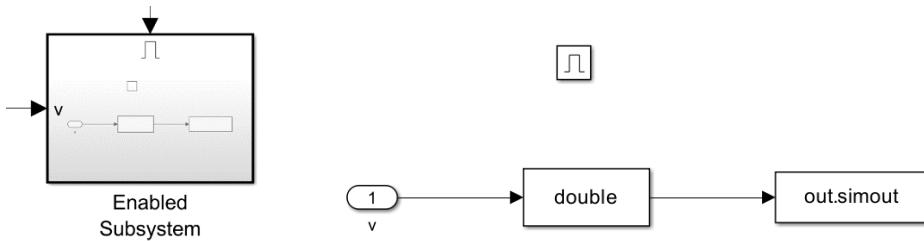


รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการนำค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยไปปรับอัตราส่วน

เนื่องจากค่าของข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้าของ Potentiometer ที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลทางเทคนิค (Datasheet) ของแต่ละประเภท จะต้องเป็นค่าของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบเบอร์เซ็นต์ ต่อระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer แต่ละชนิด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ให้เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เซ็นต์ (0-100%) เพื่อให้สอดคล้องกับการเปรียบเทียบดังกล่าวในการระบุชนิดของ Potentiometer

โดยนำค่าที่แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่คำนวณได้ แล้วหารด้วย 3.3 และคูณด้วย 100 โดยใช้บล็อก “Constant2” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 3.3, บล็อก “Constant3” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 100, บล็อก “Divide2” สำหรับหารค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้วย 3.3 และบล็อก “Product” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 100 เพื่อแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ให้เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ (0-100%) เพื่อให้สอดคล้องกับการเปรียบเทียบดังกล่าวในการระบุชนิดของ Potentiometer

1.9.1.4 นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace เพื่อนำไป Plot กราฟ และระบุชนิดของ Potentiometer

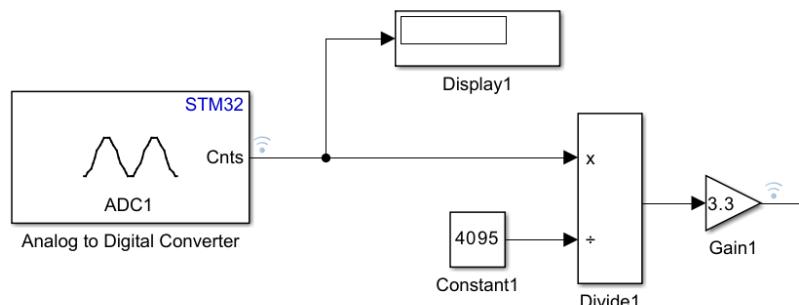


รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการส่งออกค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยไปยัง Workspace

ใช้บล็อก 'Enable Subsystem' โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าตัวเลขที่ผ่านกระบวนการหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ใช้ในการกระตุ้น (Trigger) มาจากสัญญาณ state_cal ภายใต้บล็อก จะมีการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นชนิดข้อมูลแบบ double ก่อนที่จะส่งออกไปยัง Workspace ผ่านบล็อก 'To Workspace' โดยตั้งค่าให้จัดเก็บในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ หลังจากส่งออกข้อมูลแล้ว จะนำค่าที่ได้ทั้งหมดมา Plot เพื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งการหมุนหรือการเลื่อน จากนั้นจึงเปรียบเทียบกราฟที่ได้กับข้อมูลจาก Datasheet ของ Potentiometer แต่ละประเภท

1.9.2 การทดลองแปลงสัญญาณแบบวงจร Schmitt-trigger

1.9.2.1 การแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

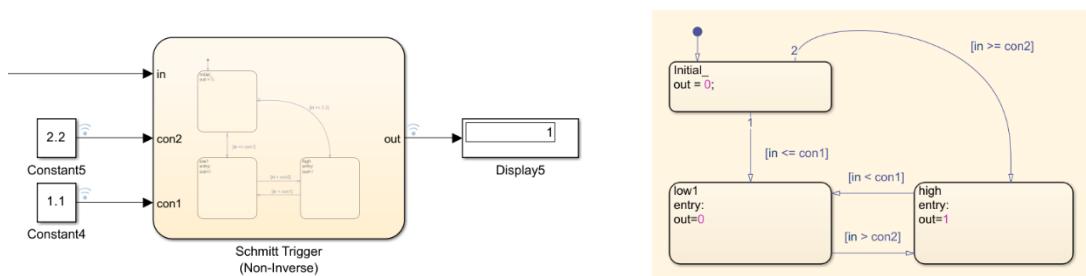


รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

1. รับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะการหมุน หรือการเลื่อนของ Potentiometer แต่ละชนิด โดยใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกจาก Potentiometer ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไม่ครอบครองโทรศัพท์

2. การแปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่อ่านได้มาหารด้วย 4095 และคูณด้วย 3.3 โดยใช้บล็อก “Constant1” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 4095, บล็อก “Divide1” สำหรับหารค่าดิจิทัลด้วย 4095 และบล็อก “Gain1” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 3.3 เพื่อแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ เนื่องจาก Potentiometer ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์

1.9.2.2 นำแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปแปลงเป็น Digital



รูปแสดง ภาพรวม Stage flow ในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้จาก Analog เป็น Digital

การนำแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ซึ่งเป็นสัญญาณ Analog ไปแปลง ให้เป็นแบบ Digital จากการนำค่าแรงดันที่อ่านได้เข้าไปยัง Port in และจะส่ง Output ออกทาง Port out

เริ่มต้นระบบจะ Stand by อยู่ที่ stage Initial เพื่อรอการรับค่า เมื่อมีการส่งค่าสัญญาณ Analog เข้ามาจะมีการตรวจสอบว่าค่าสัญญาณที่เข้ามานั้นตรงตามเงื่อนไขใด ถ้าหากสัญญาณที่เข้ามามีค่ามากกว่า 2.2V จะทำให้ระบบย้ายการทำงานจาก Stage Initial ไปยัง Stage high และทำการส่งค่า Output ออกเป็น 1 ในทางกลับกัน ถ้าหากสัญญาณที่เข้ามามีค่าน้อยกว่า 1.1V จะทำให้ระบบย้ายการทำงานจาก Stage Initial ไปยัง Stage low และทำการส่งค่า Output ออกเป็น 0 โดย Stage high และ low สามารถสลับการทำงานได้ตลอดเวลาที่ Input มีการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไข

1.10 ผลการทดลอง

1.10.1 การทดลองเพื่อนำค่าของแรงดันที่อ่านได้มาวิเคราะห์

หลักจากการที่ แปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt) และทำการทดสอบเก็บค่าข้อมูลของ Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103A2 ตำแหน่งการหมุน 50% หรือ 150 องศา จำนวน 10 ค่าดังตาราง

ครั้งที่เก็บผล การทดลอง	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์)
1	0.256
2	0.256
3	0.255
4	0.254
5	0.255
6	0.258
7	0.260
8	0.251
9	0.255
10	0.261

จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าค่าที่อ่านได้มีความแปรปรวนของข้อมูล โดยมีค่าการกระจายตัว (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.0028 ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหา จำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาระบุ เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดิมให้มีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

1.10.2 การทดลองเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาระบุ เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ ตำแหน่งเดิมให้มีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าจำนวนข้อมูล ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 700 ค่า โดยทำการทดสอบเก็บค่าข้อมูลของ Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103A2 ที่ตำแหน่งการหมุน 50% หรือ 150 องศา จำนวน 10 ค่าดังตาราง

จำนวน ของข้อมูล	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์) จำนวน 10 ค่า
--------------------	---

ที่นำมายา ค่าเฉลี่ย										
10	0.254	0.253	0.254	0.252	0.253	0.253	0.254	0.252	0.252	0.256
100	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
200	0.255	0.255	0.255	0.254	0.254	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
300	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
400	0.255	0.254	0.254	0.255	0.254	0.255	0.255	0.254	0.254	0.254
500	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
600	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255
700	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255

จากการทดลองดังกล่าว พบร่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 10 ถึง 400 ค่า มีความแปรปรวนของข้อมูลเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดลองในช่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 500 ถึง 700 ค่า พบร่วมมีความเสถียรและคงที่ของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้น คณผู้จัดทำจึงตัดสินใจเลือกเก็บค่าของแรงดันจำนวน 500 ค่าในตำแหน่งนี้ ๆ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

1.10.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) เพื่อประเมินความเสถียรของข้อมูล ที่นำไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้าของ Potentiometer ที่ระบุไว้ใน Data Sheet

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของ Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103A2 จำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 10% หรือ 30 องศา โดยเริ่มเก็บค่าจากตำแหน่ง 0% ถึง 100% หรือ 0 องศา จนถึง 300 องศา จากนั้นนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งการหมุนมาคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเฉลี่ยกำลังสอง โดยมีข้อมูลดังตาราง

ตำแหน่งของการ หมุน (หน่วย เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
0	0.000	0.000
10	0.000	0.000
20	0.036	0.036
30	0.107	0.107
ตำแหน่งของการ หมุน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง

(หน่วย เปอร์เซ็นต์)		
40	0.183	0.183
50	0.255	0.255
60	0.904	0.904
70	1.562	1.562
80	2.277	2.277
90	3.059	3.059
100	3.233	3.233

จากการทดลองดังกล่าว พบร่วมกับค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 10% หรือ 30 องศา โดยเริ่มเก็บค่าจากตำแหน่ง 0% ถึง 100% หรือ 0 องศา ถึง 300 องศา และนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) พบร่วมค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยกำลังสองในแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากันในทุก ๆ การหมุน ดังนั้น คณผู้จัดทำจึงเลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 500 ค่า

1.10.4 การทดลองและศึกษาพฤติกรรมเพื่อระบุชนิดของ Potentiometer

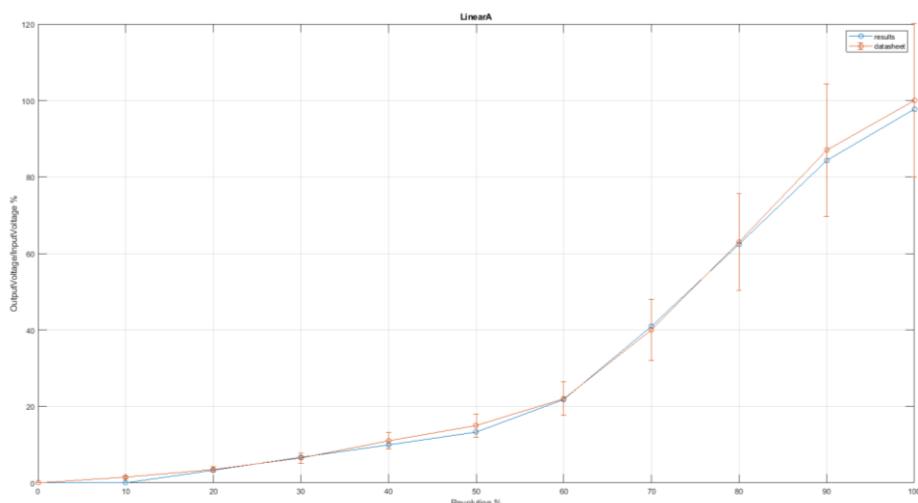
1.10.4.1 PTA6043-2015DPA103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด A

ในการทดลองนี้ คณผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจาก PTA6043-2015DPA103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด A โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งการเลื่อนทุก ๆ 10% (หรือ 6 มิลลิเมตร) โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0% จนถึง 100% ซึ่งครอบคลุมระยะทางตั้งแต่ 0 ถึง 60 มิลลิเมตร

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับชนิดของ Potentiometer ได้อย่างเหมาะสม ตามที่ระบุในตารางข้อมูล

ตำแหน่งของการเลื่อน (หน่วย % และ มิลลิเมตร)	อัตราส่วนแรงดันใน รูปแบบเปอร์เซ็นต์ (0- 100%)
0% หรือ 0 มิลลิเมตร	0.000
10% หรือ 6 มิลลิเมตร	0.002
20% หรือ 12 มิลลิเมตร	3.310
30% หรือ 18 มิลลิเมตร	6.700
40% หรือ 24 มิลลิเมตร	9.931
50% หรือ 30 มิลลิเมตร	13.285
60% หรือ 36 มิลลิเมตร	21.813
70% หรือ 42 มิลลิเมตร	40.932
80% หรือ 48 มิลลิเมตร	62.448
90% หรือ 54 มิลลิเมตร	84.313
100% หรือ 60 มิลลิเมตร	97.732

หลังจากการบันทึกค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ (0-100%) คงจะผู้จัดทำได้ดำเนินการ Plot ค่าลงในตาราง โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ (Output Voltage/Input Voltage %) กับตำแหน่งของการเลื่อนหรือ Revolution% ซึ่งแสดงในกราฟสีฟ้า นอกจากนี้ยังได้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Datasheet ซึ่งแสดงในกราฟสีส้ม ดังรูปที่แสดง



รูปแสดง กราฟของ PTA6043-2015DPA103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด A ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการเลื่อน

จากราฟจะพบว่าราฟของ PTA6043-2015DPA103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด A ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการเลื่อน มีความใกล้เคียงกับกราฟสีส้ม ซึ่งแสดงถึง ข้อมูลจาก Datasheet ของ PTA6043-2015DPA103 โดยในทุกตำแหน่งการเลื่อน ค่าที่ได้มีความสอดคล้องกัน และมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ภายในช่วงที่กำหนดไว้ของ Potentiometer ตามมาตรฐานที่ระบุ

1.10.4.2 PTA6043-2015DPB103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด B

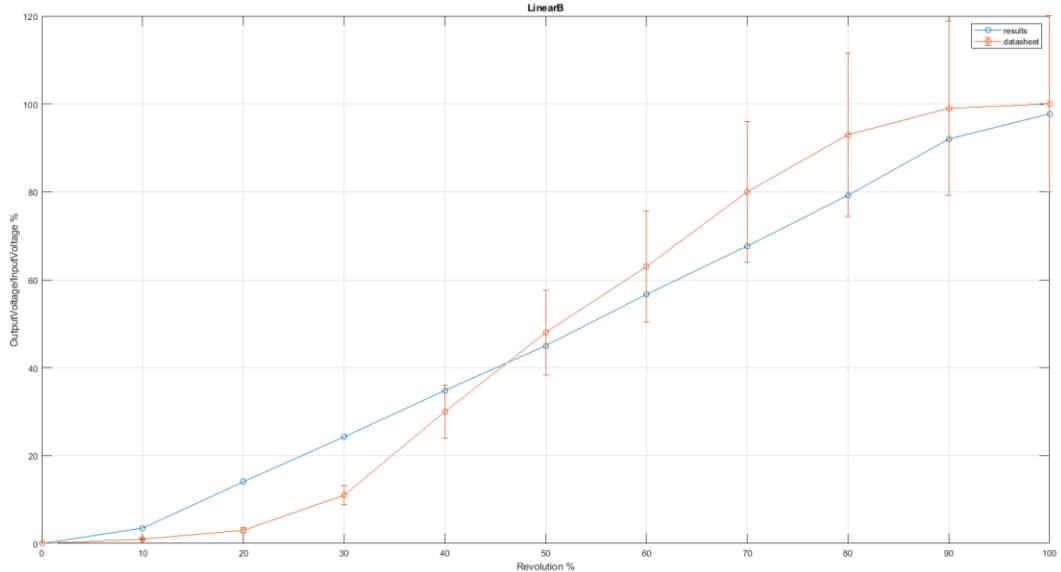
ในการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจาก PTA6043-2015DPB103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด B โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่า ในแต่ละตำแหน่งการเลื่อนทุก ๆ 10% (หรือ 6 มิลลิเมตร) โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0% จนถึง 100% ซึ่งครอบคลุมระยะทางตั้งแต่ 0 ถึง 60 มิลลิเมตร

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับชนิดของ Potentiometer ได้อย่างเหมาะสม ตามที่ระบุในตารางข้อมูล

ตำแหน่งของการเลื่อน (หน่วย % และ มิลลิเมตร)	อัตราส่วนแรงดันใน รูปแบบเบอร์เช็นต์ (0- 100%)
0% หรือ 0 มิลลิเมตร	0.000
10% หรือ 6 มิลลิเมตร	3.498
20% หรือ 12 มิลลิเมตร	14.046
30% หรือ 18 มิลลิเมตร	24.266
40% หรือ 24 มิลลิเมตร	34.816
50% หรือ 30 มิลลิเมตร	45.004
60% หรือ 36 มิลลิเมตร	56.671
70% หรือ 42 มิลลิเมตร	67.694
80% หรือ 48 มิลลิเมตร	79.207
90% หรือ 54 มิลลิเมตร	92.025
10% หรือ 60 มิลลิเมตร	97.733

หลังจากการบันทึกค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการ Plot ค่าลงในตาราง โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์

(Output Voltage/Input Voltage %) กับตำแหน่งของการเลื่อนหรือ Revolution% ซึ่งแสดงในกราฟสีฟ้า นอกจากนี้ยังได้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Datasheet ซึ่งแสดงในกราฟสีส้ม ดังรูปที่แสดง



รูปแสดงกราฟของ PTA6043-2015DPB103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด B

จากราฟที่แสดงให้เห็น กราฟสีฟ้าของ PTA6043-2015DPB103 หรือ Linear Potentiometer ชนิด B ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการเลื่อน แสดงความใกล้เคียง กับกราฟสีส้ม ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Datasheet ของ PTA6043-2015DPB103 โดยส่วนใหญ่ ค่าที่ได้มี ความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนดตามมาตรฐานของ Potentiometer ยกเว้นในช่วง 10% (6 มิลลิเมตร), 20% (12 มิลลิเมตร), และ 30% (18 มิลลิเมตร) ที่ค่าที่วัดได้เกิน จากช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนด

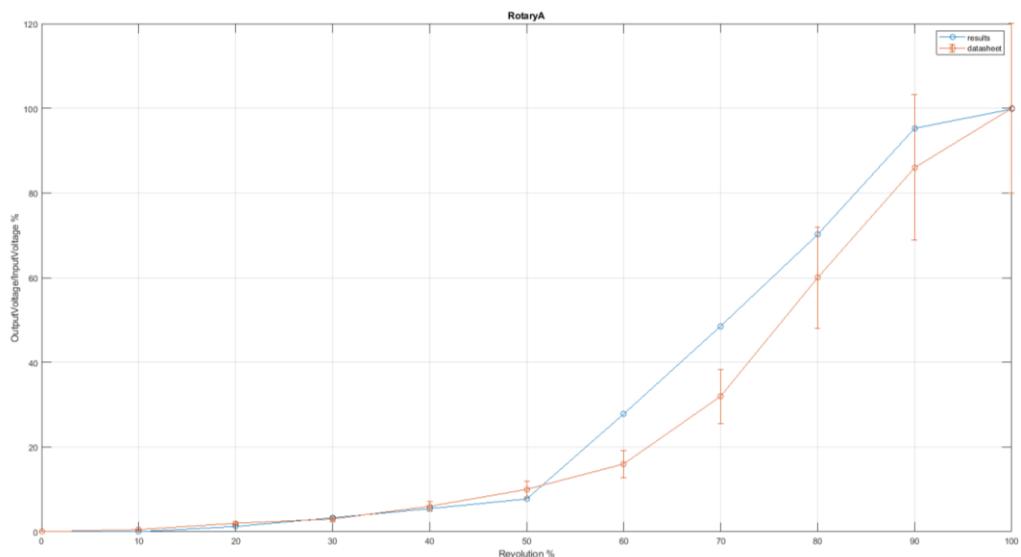
1.10.4.3 PDB181-K420K-103A2 หรือ Rotary Potentiometer ชนิด A2

ในการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจาก PDB181-K420K-103A2 หรือ Rotary Potentiometer ชนิด A2 โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งการหมุนทุก ๆ 10% (หรือ 30 องศา) โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0% จนถึง 100% ซึ่งครอบคลุมระยะทาง ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 300 องศา

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เซ็นต์ (0-100%) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับชนิดของ Potentiometer ได้อย่างหมายสม ตามที่ระบุในตารางข้อมูล

ตำแหน่งของการหมุน (หน่วย % และองศา)	อัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%)
0% หรือ 0องศา	0.000
10% หรือ 30องศา	0.000
20% หรือ 60องศา	1.213
30% หรือ 90องศา	3.279
40% หรือ 120องศา	5.497
50% หรือ 150องศา	7.607
60% หรือ 180องศา	27.344
70% หรือ 210องศา	48.536
80% หรือ 240องศา	70.803
90% หรือ 270องศา	95.297
10% หรือ 300องศา	99.825

หลังจากการบันทึกค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) คงจะจำทำได้ดำเนินการ Plot ค่าลงในตาราง โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (Output Voltage/Input Voltage %) กับตำแหน่งของการหมุนหรือ Revolution% ซึ่งแสดงในกราฟสีฟ้า นอกจากนี้ยังได้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Datasheet ซึ่งแสดงในกราฟสีส้มดังรูปที่แสดง



รูปแสดงกราฟของ PDB181-K420K-103A2 หรือ Rotary Potentiometer ชนิด A2

จากราฟที่แสดงให้เห็น กราฟสีฟ้าของ PDB181-K420K-103A2 หรือ Rotary Potentiometer ชนิด A2 ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการหมุน แสดงความใกล้เคียง กับกราฟสีส้ม ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Datasheet ของ PDB181-K420K-103A2 โดยส่วนใหญ่ ค่าที่ได้มี ความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนดตามมาตรฐานของ Potentiometer ยกเว้นในช่วง 60% (180องศา) และ 70% (210 องศา) ที่ค่าที่วัดได้เกินจากช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนด

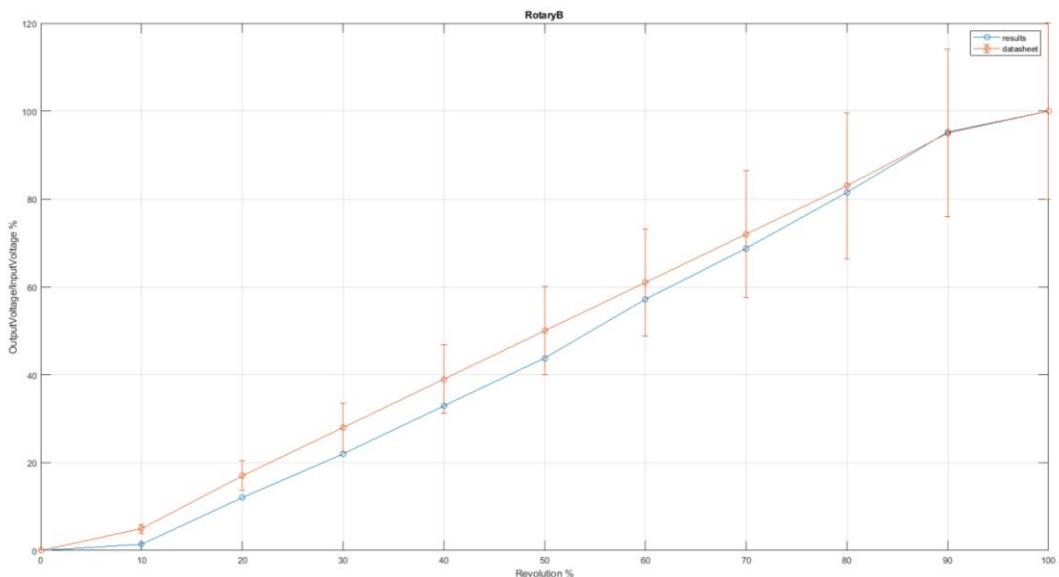
1.10.4.4 PDB181-K420K-103B หรือ Rotary Potentiometer ชนิดB

ในการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจาก PDB181-K420K-103B หรือ Rotary Potentiometer ชนิด B โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่า ในแต่ละตำแหน่งการหมุนทุก ๆ 10% (หรือ 30 องศา) โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0% จนถึง 100% ซึ่งครอบคลุมระยะทางตั้งแต่ 0 องศา ถึง 300 องศา

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับชนิดของ Potentiometer ได้อย่างเหมาะสม ตามที่ระบุในตารางข้อมูล

ตำแหน่งของการหมุน (หน่วย % และองศา)	อัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%)
0% หรือ 0องศา	0.000
10% หรือ 30องศา	1.429
20% หรือ 60องศา	12.038
30% หรือ 90องศา	21.984
40% หรือ 120องศา	32.915
50% หรือ 150องศา	43.800
60% หรือ 180องศา	57.166
70% หรือ 210องศา	68.776
80% หรือ 240องศา	81.496
90% หรือ 270องศา	95.242
10% หรือ 300องศา	100.000

หลังจากการบันทึกค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เซ็นต์ (0-100%) คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการ Plot ค่าลงในตาราง โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เซ็นต์ (Output Voltage/Input Voltage %) กับตำแหน่งของการหมุนหรือ Revolution% ซึ่งแสดงในกราฟสีฟ้า นอกจากนี้ยังได้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Datasheet ซึ่งแสดงในกราฟสีส้ม ดังรูปที่แสดง



รูปแสดงกราฟของ PDB181-K420K-103B หรือ Linear Potentiometer ชนิด B

จากราฟที่แสดงให้เห็น กราฟสีฟ้าของ PDB181-K420K-103B หรือ Rotary Potentiometer ชนิด B ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการหมุน แสดงความใกล้เคียง กับกราฟสีส้ม ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Datasheet ของ PDB181-K420K-103B โดยส่วนใหญ่ ค่าที่ได้มี ความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนดตามมาตรฐานของ Potentiometer ยกเว้นในช่วง 10% (30องศา), 20% (60องศา) และ 30% (90 องศา) ที่ค่าที่วัดได้เกินจากช่วงค่า ความคาดเคลื่อนที่กำหนด

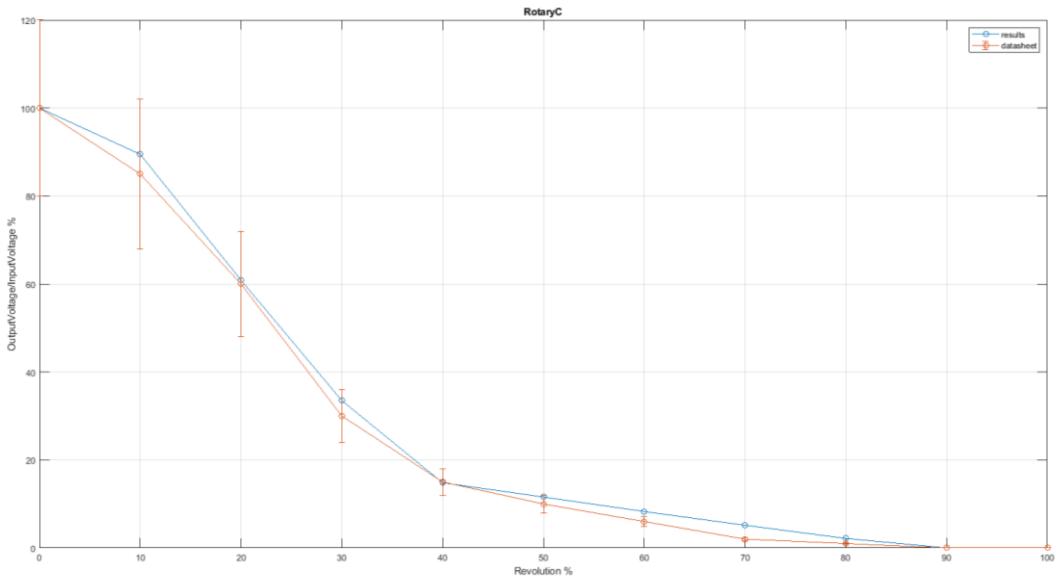
1.10.4.5 PDB181-K420K-103C หรือ Rotary Potentiometer ชนิด C

ในการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจาก PDB181-K420K-103C หรือ Rotary Potentiometer ชนิด C โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่งการ หมุนทุก ๆ 10% (หรือ 30 องศา) โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0% จนถึง 100% ซึ่งครอบคลุมระยะทาง ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 300 องศา

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์เป็นอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับชนิดของ Potentiometer ได้อย่างเหมาะสม ตามที่ระบุในตารางข้อมูล

ตำแหน่งของการหมุน (หน่วย %และองศา)	อัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%)
0% หรือ 0องศา	0.000
10% หรือ 30องศา	1.429
20% หรือ 60องศา	12.038
30% หรือ 90องศา	21.984
40% หรือ 120องศา	32.915
50% หรือ 150องศา	43.800
60% หรือ 180องศา	57.166
70% หรือ 210องศา	68.776
80% หรือ 240องศา	81.496
90% หรือ 270องศา	95.242
10% หรือ 300องศา	100.000

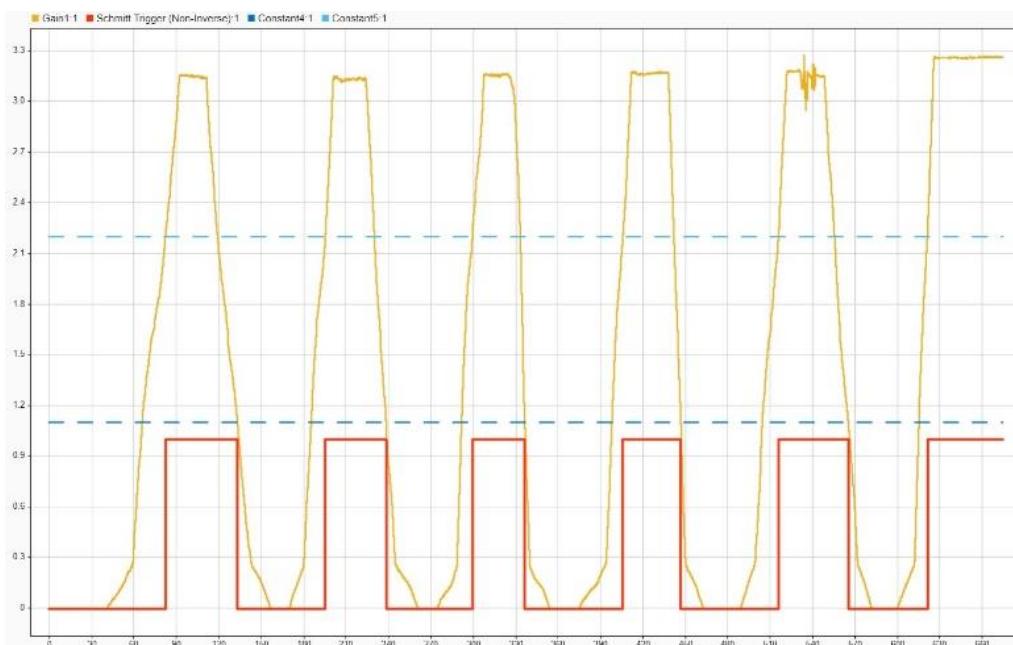
หลังจากการบันทึกค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (0-100%) คงจะจำทำได้ดำเนินการ Plot ค่าลงในตาราง โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแรงดันในรูปแบบเบอร์เช็นต์ (Output Voltage/Input Voltage %) กับตำแหน่งของการหมุนหรือ Revolution% ซึ่งแสดงในกราฟสีฟ้า นอกจากนี้ยังได้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก Datasheet ซึ่งแสดงในกราฟสีส้ม ดังรูปที่แสดง



รูปแสดงกราฟของ PDB181-K420K-103C หรือ Linear Potentiometer ชนิด C

จากราฟที่แสดงให้เห็น กราฟสีฟ้าของ PDB181-K420K-103C หรือ Rotary Potentiometer ชนิด C ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของการหมุน แสดงความไม่กลมคี่ยง กับกราฟสีส้ม ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Datasheet ของ PDB181-K420K-103C โดยส่วนใหญ่ค่าที่ได้มีความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนดตามมาตรฐานของ Potentiometer ยกเว้น ในช่วง 60% (180องศา) และ 70% (210 องศา) ที่ค่าที่วัดได้เกินจากช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนด

1.10.5 การทดลองแปลงสัญญาณแบบวงจร Schmitt-trigger



รูปแสดง กราฟที่แปลงจาก Analog เป็น Digital ด้วยวงจร Schmitt-trigger

จากการทดลองได้ทำการหมุน Potentiometer ไป-กลับ จำนวน 5 รอบจะสังเกตุได้ว่า เมื่อค่าแรงดัน (สีเหลือง) สูงกว่า 2.2V (สีฟ้า) สัญญาณ Output (สีแดง) จะส่องออกค่า 1 และเมื่อค่าแรงดันต่ำกว่า 1.1V (สีน้ำเงิน) สัญญาณ Output จะส่องออกค่า 0 โดยจากการทดลองผ่านวงจร Schmitt-trigger ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital และสามารถแสดงให้เห็นว่า สัญญาณ Output ปรับตัวตามสัญญาณ Input แบบ Real Time

1.11 สรุปผล

ในการทดลองครั้งนี้ คณะผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink เพื่อควบคุมและรับข้อมูลจากการทดลอง รวมถึงใช้บอร์ด Nucleo STM32G474RE ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดลองเพื่อระบุชนิดของ Potentiometer และทดสอบสมมติฐานตามที่ได้วางไว้ โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลการปรับค่าของ Potentiometer สองประเภท ได้แก่ Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer โดยการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งการหมุน ทั้งนี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 500 ค่าในแต่ละตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เพิ่มความเสถียรของข้อมูล หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้าของ Potentiometer ที่ระบุไว้ใน Datasheet ของแต่ละประเภท โดยผลการทดลองพบว่าสามารถระบุชนิดของ Potentiometer ได้อย่างแม่นยำโดยส่วนใหญ่ค่าที่ได้มีความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงค่าความคาดเคลื่อนที่กำหนดตามมาตรฐานของ Potentiometer แต่ละชนิด และ

แสดงให้เห็นถึงการแปรผันของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการปรับตำแหน่งการหมุน ซึ่งเป็นตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

นอกจากนี้ คณผู้จัดทำยังได้ทดสอบวงจร Schmitt-trigger เพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital และสามารถยืนยันได้ว่าสัญญาณ Output มีการแปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time ตามที่สมมติฐานคาดการณ์ไว้

1.12 อภิปราชผล

จากการทดลองที่ใช้ MATLAB และ Simulink ควบคู่กับบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในการเก็บข้อมูล และควบคุมระบบ คณผู้จัดทำสามารถระบุชนิดของ Potentiometer ได้อย่างแม่นยำ โดยใช้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งการหมุน ทั้งนี้ Potentiometer ส่องประกายที่ทดสอบ ได้แก่ Linear และ Rotary Potentiometer ซึ่งมีการบันทึกข้อมูล 500 ค่าต่อจุด เพื่อหาเฉลี่ยค่าที่ได้ให้เสถียร การทดลองได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับข้อมูลจาก Datasheet ของ Potentiometer ทั้งสองประเภท และมีความแม่นยำอยู่ในช่วงความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน

การทดสอบวงจร Schmitt-trigger เพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ได้ผลตามที่คาดการณ์ไว้ สัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองและแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ในการทดลองมีค่าความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจมาจากการปัจจัยหลากหลาย เช่น สภาพสายไฟหรือแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของการวัดแรงดัน ในระหว่างการทดลอง ทีมงานพบว่าสายไฟบางเส้นชำรุด ทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน อีกทั้งการที่ตัว Potentiometer บางตัวไม่แน่นพอ เนื่องจากการขันแน่นเกินไป ส่งผลให้ Potentiometer กระดกและขาดเสียไปสูญเสีย ทำให้ค่าแรงดันมีความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ ความไม่นิ่งในการหมุน หรือเลื่อนตำแหน่ง ก็อาจทำให้การวัดค่าแรงดันมีความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

สรุปได้ว่าการทดลองนี้ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ และการทดลองที่รัดกุมยิ่งขึ้นจะช่วยลดปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำในการวัด

1.13 ข้อเสนอแนะ

1.13.1 ตรวจเชิงสายไฟและอุปกรณ์เขื่อมต่อทุกครั้งก่อนใช้งาน

ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าสายไฟและขั้วต่อทุกจุดอยู่ในสภาพสมบูรณ์และเขื่อมต่อแน่นหนา เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากสายไฟที่ชำรุดหรือหลวม เพื่อช่วยลดความผิดพลาดของข้อมูลที่บันทึก

1.13.2 ตรวจสอบการติดตั้ง Potentiometer ให้แน่นหนา

ควรตรวจสอบให้มั่นใจว่า Potentiometer ถูกติดตั้งอย่างมั่นคงและไม่หลวม การขันให้แน่นจะช่วยลดการกระดกของอุปกรณ์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าแรงดัน

1.13.3 เลือกแหล่งจ่ายไฟที่มีความเสถียร

ควรใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีความเสถียรและมีคุณภาพสูง เพื่อลดการผันผวนของแรงดันไฟฟ้าที่อาจส่งผลต่อกำลังแม่เหล็กของข้อมูลที่วัดได้ การใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีระบบกรองสัญญาณรบกวนจะช่วยให้การทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น

1.14 เอกสารอ้างอิง

ไพร์มัส ประเทศไทย. (16 กันยายน 2563). สัญญาณ Analog และ Digital ต่างกันอย่างไร? สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2567, จาก <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132.BI>

BI Technologies. เอกสารข้อมูล PTA6043-2015DPA103. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2567, จาก <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>.

BI Technologies. เอกสารข้อมูล PTA6043-2015DPA103. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2567, จาก <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>.

BI Technologies. PDB18-1013655 Data Sheet. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2567, จาก <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>.

BI Technologies. เอกสารข้อมูล PDB18-1013655. สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2567, จาก <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>.

BI Technologies. เอกสารข้อมูล PDB18-1013655. สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2567, จาก <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>.

Mbed. ST Nucleo-G474RE. Retrieved from สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024
<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

Greed Is Goods. (n.d.). ค่า SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024
Retrieved from <https://greedisgoods.com/ค่า-sd-คือ-ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน/>

2. Incremental Encoder

2.1 จุดประสงค์

- คณผู้จัดทำจะทำการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลักในการศึกษาเกี่ยวกับ Incremental Encoder
- คณผู้จัดทำสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Incremental Encoder ได้
- คณผู้จัดทำสามารถอธิบายหลักการทำงานและความหมายของการ config parameter ใน IOC ได้
- คณผู้จัดทำสามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder ได้ เมื่อทิศทางและความเร็วการหมุนเปลี่ยนแปลงไป โดยจะถูกนำไปที่รูปแบบเฟสของสัญญาณในแต่ละช่อง Output ของ Incremental Encoder
- คณผู้จัดทำสามารถอ่านค่า Pulses Per Revolution และ Resolution ของ Incremental Encoder ในชุดการทดลองได้
- คณผู้จัดทำสามารถอ่านค่าจาก Incremental Encoder ในรูปแบบสัญญาณแบบ Quadrature encoder ได้ทั้งรูปแบบและทุกวิธีการ (QEI และ Polling Method)
- คณผู้จัดทำสามารถอ่านค่า Raw Signal ของ QEI Method และแปลงเป็น Relative Position (pulses) ด้วยการ Integrate Discrete Velocity (diff_counts) และแสดงผลพร้อมกันได้
- คณผู้จัดทำสามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการ หรือรับค่าร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Incremental Encoder ด้วยมือเป็น Input และแสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ และแสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink และแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity ในหน่วย SI
- คณผู้จัดทำสามารถอ่านค่า Pulses Per Revolution และ Resolution ของ Incremental Encoder ได้
- คณผู้จัดทำสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อ Homing Incremental Encoder ได้

2.2 สมมติฐาน

- การหมุนของ Incremental Encoder จะส่งผลให้เกิดสัญญาณ Output ที่เปลี่ยนแปลง ไปในรูปแบบที่สัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วการหมุน โดยสัญญาณ Output จะแสดงถึงการ เปลี่ยนแปลงตำแหน่งเชิงมุมที่ถูกต้องตามจำนวนพัลส์ที่ได้รับ
- การเปลี่ยนแปลงในค่าคอนฟิกพารามิเตอร์ (config parameters) ใน IOC จะส่งผลกระทบ ต่อความแม่นยำในการอ่านค่าและสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder โดยการปรับแต่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูล
- การวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ Output ในแต่ละช่องของ Incremental Encoder จะสามารถ แสดงรูปแบบเฟสของสัญญาณที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในทิศทางและความเร็วการหมุนได้ อย่างชัดเจน

- ค่าที่ได้จากการคำนวณ Pulses Per Revolution และ Resolution จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความแม่นยำในการอ่านค่าจาก Incremental Encoder ในการทดลอง
- การอ่านค่า Raw Signal จาก QEI Method และการแปลงเป็น Relative Position (pulses) โดยการ Integrate Discrete Velocity (diff_counts) จะสามารถแสดงถึงความถูกต้องในการประมาณผลข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB และ Simulink จะสามารถแสดงผลสัญญาณ Output แบบ Real Time ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Raw Signal, Angular Position, และ Angular Velocity ในหน่วย SI ได้อย่างแม่นยำ
- การใช้ QEI Method จะมีข้อดีในด้านความแม่นยำและความเร็วในการอ่านค่ามากกว่าการใช้ Polling Method แต่ Polling Method อาจมีความล่าช้าในการใช้งานในบางกรณี
- การเขียนโปรแกรมเพื่อ Homing Incremental Encoder จะสามารถทำให้ Encoderกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำตามที่คาดหวัง

2.3 ตัวแปร

2.3.1 ตัวแปรต้น

- ทิศทางการหมุน (Direction of Rotation): การหมุนไปทางซ้ายหรือขวาของ Incremental Encoder
- ความเร็วการหมุน (Speed of Rotation): อัตราการหมุนของ Incremental Encoder เช่น RPM (Revolutions Per Minute)
- ค่าคอนฟิกพารามิเตอร์ใน IOC (Config Parameters in IOC): การตั้งค่าต่าง ๆ เช่น ค่า Prescaler, Sampling Rate, และอื่น ๆ
- รูปแบบการอ่านค่าจาก Encoder (Method of Reading Values): การใช้ QEI Method หรือ Polling Method ในการอ่านค่าจาก Encoder

2.3.2 ตัวแปรตาม

- สัญญาณ Output ของ Incremental Encoder (Output Signal of Incremental Encoder): สัญญาณที่เกิดจากการหมุนของ Encoder ซึ่งจะเป็นพัลส์ในรูปแบบ Quadrature
- Pulses Per Revolution (PPR): จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบการหมุนของ Encoder
- Resolution: ความสามารถในการอ่านค่าจาก Incremental Encoder ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก PPR
- ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position): ตำแหน่งของ Encoder ในหน่วยองศาหรือเรเดียն
- ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity): ความเร็วการหมุนในหน่วยองศาต่อวินาทีหรือเรเดียնต่อวินาที

- Raw Signal: สัญญาณที่ได้รับจาก Encoder ก่อนการประมวลผล
- Relative Position (pulses): ตำแหน่งเชิงสัมพันธ์ที่คำนวณจาก Raw Signal

2.3.3 ตัวแปรควบคุม

- อุณหภูมิ (Temperature): สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของ Encoder
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage): แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Incremental Encoder
- ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (Data Logging Interval): ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสัญญาณ Output
- ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ (Hardware Used): บอร์ด Nucleo STM32G474RE ที่ใช้ในการทดลอง
- โปรแกรมที่ใช้ (Software Used): MATLAB และ Simulink ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล

2.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

- Sampling Rate

ความถี่ในการเก็บข้อมูลสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

- การ Unwrap

กระบวนการปรับมนุษย์ของสัญญาณให้ต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแบบกระโดด

- การอ่าน Encoder โหมด X1, X2 และ X4

โหมดกำหนดความละเอียดในการอ่านค่าตำแหน่ง:

- X1: นับหนึ่งครั้งต่อรอบ

- X2: นับขอบขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ

- X4: นับขอบทั้งสัญญาณ A และ B ให้ความละเอียดสูงสุด

- Pulse Per Revolution (PPR)

จำนวนพัลส์ที่ Encoder ส่งออกต่อการหมุนหนึ่งรอบ ยิ่งสูง ยิ่งละเอียด

- Rising Edge และ Falling Edge

- Rising Edge: เปลี่ยนจากค่าต่ำไปค่าสูง

- Falling Edge: เปลี่ยนจากค่าสูงไปค่าต่ำ

- การหาความเร็วเชิงมุมของ Encoder (Angular Velocity)

คำนวณความเร็วจากการหมุนของเพลาโดยใช้จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้น

- การหาตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder (Angular Position)

คำนวณตำแหน่งเชิงมุมจากจำนวนพัลส์ที่อ่านได้

- Counter Period

ระยะเวลาในการนับพัลส์ในระบบดิจิทัล

2.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

- การหมุน Encoder คือการหมุน knob ที่ติดกับเพลา Encoder

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Sampling rate

คือความถี่ในการเก็บข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยวัดเป็นจำนวนครั้งที่มีการสุ่มสัญญาณในหนึ่งวินาที มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

2.6.2 การ Unwrap

ในการประมวลผลสัญญาณ (signal processing) เป็นกระบวนการจัดการกับเฟส (phase) ของสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันเชิงมุม เช่นสัญญาณไซน์หรือโคไซน์ โดยปกติเมื่อเฟสเปลี่ยนไปมากกว่า 180 องศา (หรือ π เรเดียน) จะเกิดการ wrap หรือ "การห่อหุ้ม" ของมุม ทำให้ค่ามุมเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบกระโดดที่จุด 180 องศา (หรือ -180 องศา) โดยฟังก์ชัน unwrap ทำหน้าที่แก้ไขมุมเฟสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบกระโดด โดยการเพิ่มหรือลดค่ามุมทีละ 360 องศา (หรือ 2π เรเดียน) เพื่อให้มุมมีความต่อเนื่องกัน ผลลัพธ์คือเฟสที่มีความเปลี่ยนแปลงราบรื่นขึ้น

2.6.3 การอ่าน Encoder โหมด x1, x2 และ x4

Encoder มีโหมดการอ่านค่าหรือการนับที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่โหมด x1, x2 และ x4 ซึ่งเป็นการกำหนดความละเอียดในการอ่านค่าตำแหน่งการหมุนของเพลา โดยขึ้นอยู่กับการอ่านสัญญาณจากช่องสัญญาณ A และ B ของ Encoder

โหมดการอ่านค่า Encoder:

1. x1 (1x Counting):

- อ่านสัญญาณเพียงครั้งเดียวในหนึ่งรอบสัญญาณ (หนึ่งคลื่น)
- ในโหมดนี้ ตัวนับจะนับเพียงหนึ่งครั้งในหนึ่งรอบสัญญาณ A หรือ B
- ความละเอียดจะต่ำที่สุด

โดยนับเฉพาะสัญญาณที่ขอบขาขึ้นหรือขาลงของช่องสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง

2. x2 (2x Counting):

- อ่านค่าที่ขอบขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A หรือ B อย่างใดอย่างหนึ่ง
- ความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของโหมด x1

โดยการนับที่ทั้งขอบขาขึ้นและขาลงของช่องสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง

3. x4 (4x Counting):

- อ่านค่าทั้งที่ขอบขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และ B

- ความละเอียดสูงสุด โดยการนับทั้ง 4 ขอบ (ขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และ B) ในแต่ละรอบ
- ให้ความละเอียดสูงกว่า $\times 1$ ถึง 4 เท่า เมื่อจะสำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง

2.6.4 Pulse per revolution/round

คือจำนวนพัลส์ที่ Encoder ส่งออกมาต่อการหมุนครบทุกหนึ่งรอบของเพลา โดย PPR เป็นตัวชี้วัดความละเอียด ของ Encoder กล่าวคือ ยิ่ง PPR สูงเท่าไหร่ ก็จะยิ่งสามารถตรวจสอบตำแหน่งและการหมุนได้ละเอียดมากขึ้นการทำงานของ PPR:

- เมื่อเพลาหมุน Encoder จะสร้างพัลส์สัญญาณเป็นสัญญาณดิจิทัล (high/low) ตามจำนวนที่กำหนดไว้ต่อรอบ เช่น ถ้า Encoder มีค่า 1000 PPR หมายความว่าในหนึ่งรอบการหมุน Encoder จะส่งออกพัลส์ทั้งหมด 1000 ครั้ง
- การนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งหรือมุมการหมุนได้จากจำนวนที่บันทึกไว้ สามารถคำนวณ ความเร็วการหมุน ได้ด้วยหากนับจำนวนพัลส์ในช่วงเวลาหนึ่ง

2.6.5 Rising edge และ Falling edge

2.6.5.1 Rising edge

คือจุดเปลี่ยนของสัญญาณดิจิทัลที่เปลี่ยนสถานะจาก ค่าต่ำ (low) เป็น ค่าสูง (high) หรือจาก 0 เป็น 1 สัญญาณที่ใช้การนับ หรือการตรวจจับขอบ (edge) มักจะใช้ rising edge ในการระบุช่วงเวลา หรือเหตุการณ์บางอย่าง เช่น การนับพัลส์ การเริ่มต้นจับเวลาหรือการอ่านค่าข้อมูล

2.6.5.2 Falling edge

คือจุดเปลี่ยนของสัญญาณดิจิทัลที่เปลี่ยนสถานะจาก ค่าสูง (high) เป็น ค่าต่ำ (low) หรือจาก 1 เป็น 0 การตรวจจับขอบข้างล่างนี้ใช้ในการตรวจจับการสิ้นสุดของเหตุการณ์บางอย่างหรือเป็นจุดเริ่มต้น สำหรับการทำงานบางประการ เช่น การนับพัลส์การจับเวลาหรือการสั่งงานในระบบดิจิทัล

2.6.6 การหาความเร็วของ Encoder

การหาความเร็วของ Encoder เป็นกระบวนการคำนวณเพื่อ หาความเร็วเชิงมุมหรือความเร็วเชิงเส้น ของวัตถุที่หมุนหรือเคลื่อนที่ โดย Encoder จะส่งพัลส์สัญญาณออกตามการหมุนของเพลา สมการการหาความเร็วของ Encoder:

$$Velocity = \left(\frac{\Delta Count}{PPR} \right) \times SamplingRate \times 2\pi$$

Velocity คือ ความเร็วของ Encoder

ΔCount คือ การเปลี่ยนแปลงของจำนวน pulse

PPR คือ จำนวน pulse ที่ Encoder ส่งออก

SamplingRate คือ ความถี่ในการเก็บข้อมูล

2.6.7 การหาตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder

เป็นกระบวนการคำนวณมุมหรือการหมุนของวัตถุที่ต่อ กับ Encoder ซึ่งจะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาตามจำนวนขั้นที่วัตถุหมุนไป การแปลงพัลส์เป็นตำแหน่งเชิงมุมทำให้เราสามารถตรวจสอบตำแหน่ง มุมของการหมุนได้สมการการหาตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder:

$$\text{AngularPosition} = \frac{\text{Count}}{\text{PPR}}$$

AngularPosition คือ ตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder

Count คือ ค่าที่อ่านได้จาก Encoder

PPR คือ จำนวน pulse ที่ Encoder ส่งออก

2.6.8 Counter period

หมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการนับหรือเก็บข้อมูลในระบบบันบัด (counter) โดยเฉพาะในวงจรดิจิตอล เช่น ในการนับพัลส์จากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่สร้างสัญญาณเป็นพัลส์

2.6.9 วัสดุอุปกรณ์

2.6.9.1 Incremental Encoder AMT103-V



รูปแสดง Incremental Encoder ชนิด AMT103-V

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

- Output phase difference: 90°
- Supply Voltage: 3.6 - 5.5 VDC
- Output Resolution: 48 – 2048 ppr
- Frequency response: 250 kHz Max
- operating temperature: -40 ถึง +100°C

- Encoder Type: Incremental Encoder
- Datasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

2.6.9.2 BOURNS PEC11R-4220F-N0024

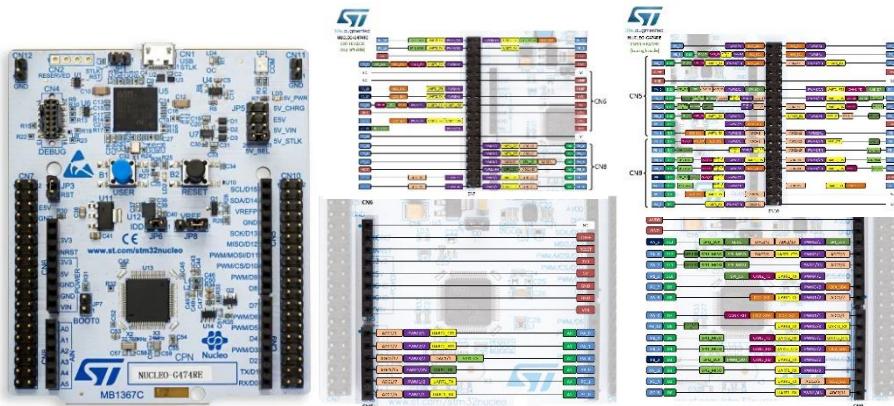


รูปแสดง Rotary Encoder ชนิด PEC11R-4220F-N0024

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/556214/BOURNNS/PEC11R.html>

- Power Rating: 10 mA at 5 VDC
- operating temperature: -40 ถึง +70°C
- Encoder Type: Incremental Encoder
- Datasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/556214/BOURNNS/PEC11R.html>

2.6.9.3 Nucleo STM32G474R



รูปแสดง Nucleo STM32G474RE

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากตระกูล STM32 ซึ่งใช้ชิป ARM Cortex-M4 ที่มีความเร็วสูงสุด 170 MHz หน่วยความจำ Flash ขนาด 512 KB และ RAM ขนาด 128 KB บอร์ดนี้ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีตัวเชื่อมต่อแบบ Arduino และ ST Zio ที่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังมี ST-LINK/V2-1 ในตัว ทำให้สามารถโปรแกรมและดีบักได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม รองรับการเขียนโปรแกรมผ่าน STM32CubeIDE เหมาะสำหรับการทำโปรเจกต์ที่ต้องการความแม่นยำ

2.7 วิธีดำเนินการทดลอง

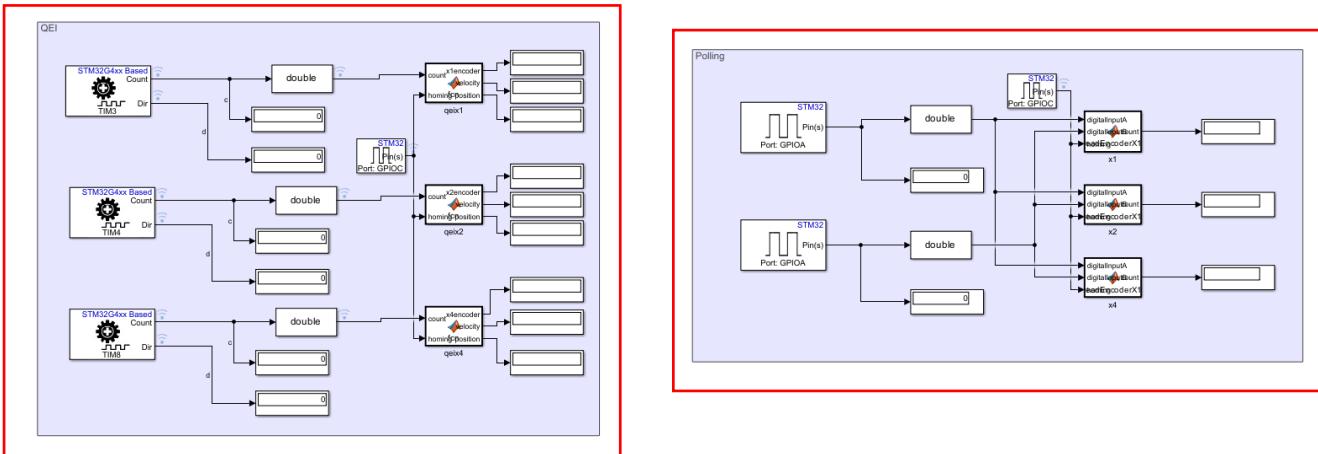
ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองเพื่อแสดงผลจากการอ่าน Encoder ที่ได้จากการหมุน Encoder BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ *Incremental Encoder AMT103-V* เป็นค่า Raw Input, ตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative Position), ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position), ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และจำนวนพลั๊ส ต่อรอบ (Pulse per Revolution หรือ PPR) โดยเริ่มจากการ log สัญญาณที่ได้จาก Encoder และคำนวนหาค่า ตำแหน่งสัมพัทธ์, ตำแหน่งเชิงมุม และความเร็วเชิงมุม โดยใช้วิธี Quadrature Encoder Interface (QEI) และวิธี Polling Method จากนั้นทำการหมุน Encoder เพื่อเก็บข้อมูลเพื่อหาค่า PPR และแสดงผลข้อมูลที่ได้ทั้งหมดผ่าน Data Inspector เพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าที่ได้

2.8 วัสดุอุปกรณ์

- Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 ตัว
- BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน
- Nucleo STM32G474RE จำนวน 1 ตัว
- สายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด
- Jumper Wire Cable จำนวน 1 ชุด

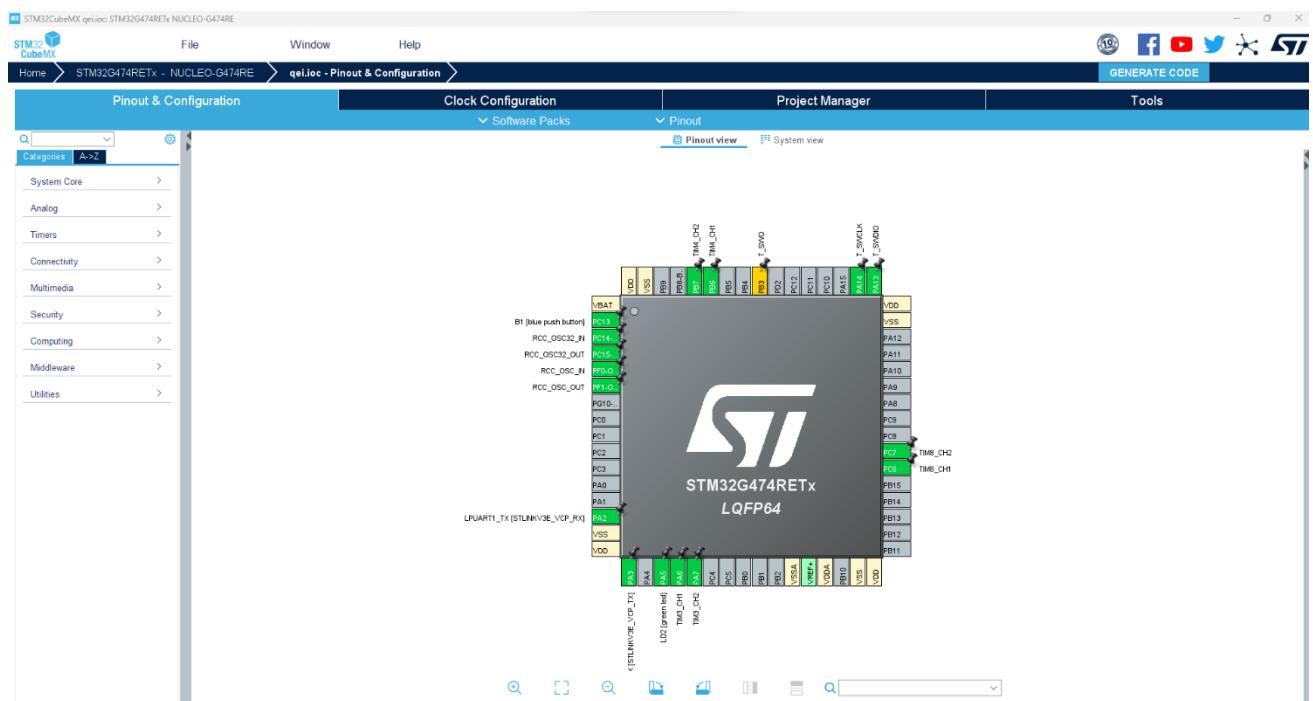
2.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้



รูปภาพแสดงการออกแบบ Simulink ในการอ่านค่า Encoder แบบ QEI และ Polling Method

การทดลองอ่านค่า Relative Position, AngularVelocity และ AngularPosition จาก Encoder ด้วยวิธี QEI (Quadrature Encoder Interface) และ วิธี Polling มีขั้นตอนดังนี้

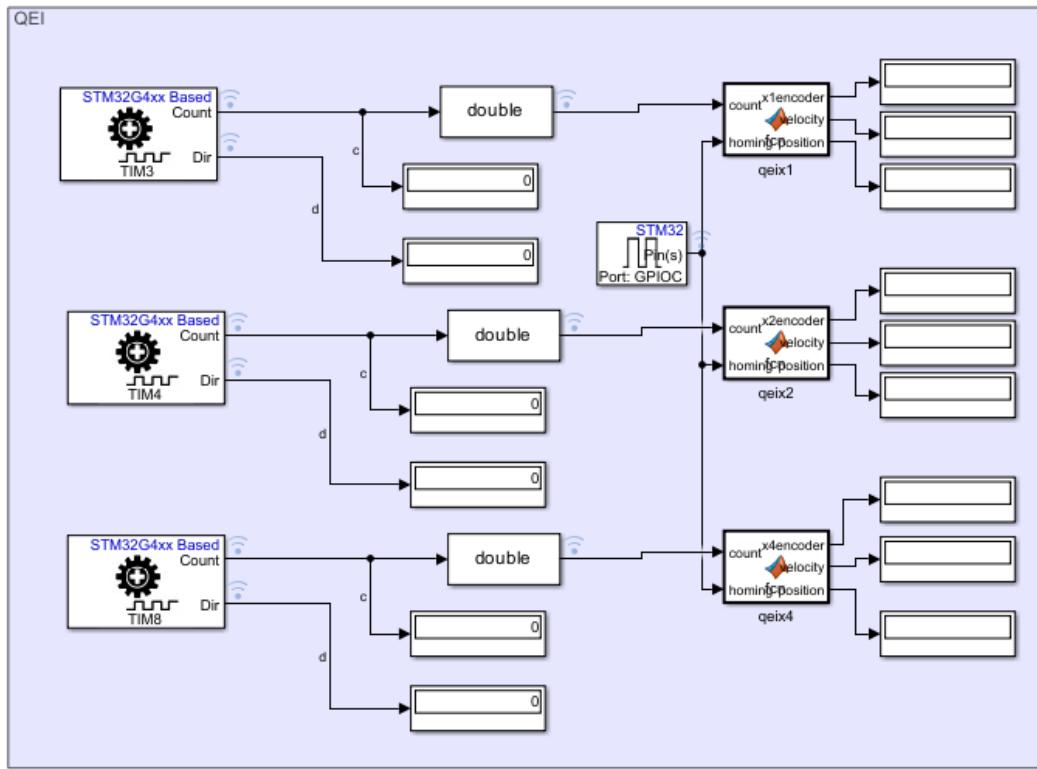


รูปภาพแสดงการตั้งค่า STM32CubeMx

2.9.1 การตั้งค่าและการเตรียมอุปกรณ์

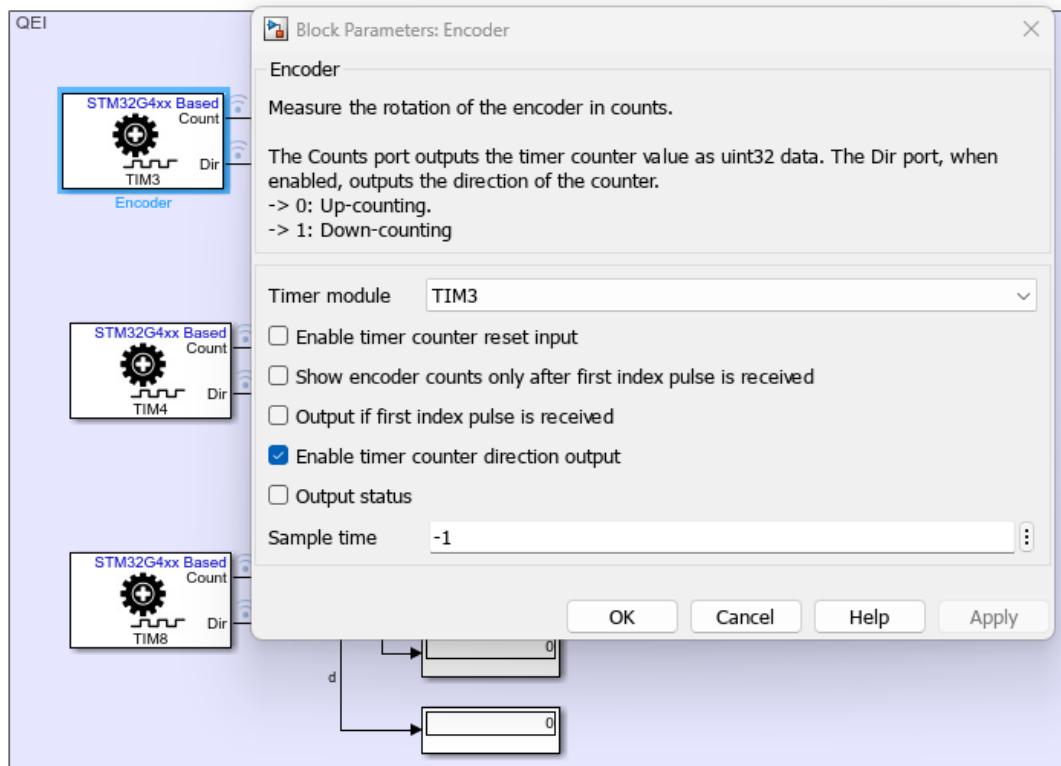
- เชื่อมต่อ encoder กับ STM32 โดยจะเชื่อมต่อกับ Timer module (TIM3, TIM4, TIM8) ที่ตั้งเป็น EncoderMode และการตั้งค่า การตั้งค่า Counter Period ให้ลงตัวกับ PPR เพื่อเป็นการทำ

- ให้การคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องกับ Encoder เช่น ความเร็ว การหมุน และทิศทาง เป็นไปอย่างถูกต้อง
แม่นยำ และง่ายต่อการตรวจสอบสำหรับการใช้งานในโหมด QEI ในโปรแกรม STM32CubeMX
- ตั้งค่า GPIOA และ GPIOC เป็น GPIO_INPUTสำหรับการใช้ในโหมด Polling เพื่ออ่านค่าจาก
พอร์ตดิจิตอลของ STM32 ในโปรแกรมSTM32CubeMX



รูปภาพแสดงการออกแบบ Simulink ในการอ่านค่า Encoder แบบ QEI

2.9.2 การทดสอบด้วย QEI:



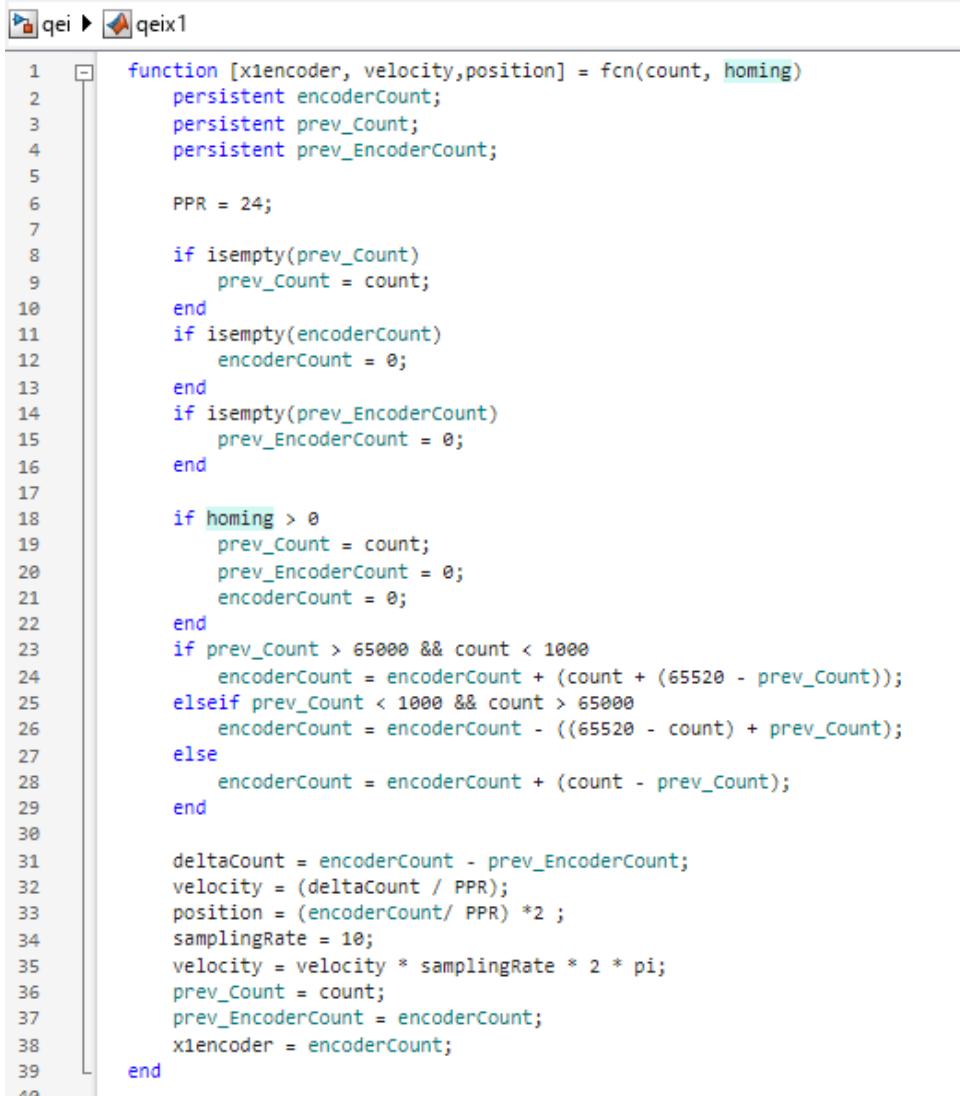
รูปภาพแสดงการตั้งค่าการอ่านค่าแบบบีบี QEI

ตั้งค่า Block Encoder ในโปรแกรม Simulink เป็น Timer (TIM3, TIM4, และ TIM8) ใน STM32 เพื่อทำหน้าที่อ่านค่าจาก encoder แบบบีบบี QEI โดย log สัญญาณ เพื่อแสดงผล Raw input และใช้ Block MATLAB Function สำหรับการรับค่า Count จาก Block Encoder แต่ละ Timer และค่า homing ที่มาจากการอ่านสัญญาณของการกดปุ่มบนบอร์ด STM32 แล้วคำนวณค่า count ,Angular position ด้วยวิธีการ unwrap และหาค่า Angular velocity และแสดงค่าผลลัพธ์ผ่าน DataInspector

การอ่านค่าแบบ QEI ที่ความละเอียด X1 X2 X4

- ที่ความละเอียด X1 Encoder Mode จะตั้งค่า STM32CubeMx ในขา TIM ที่ Encoder Mode x1_Tl1 หรือ Encoder Mode x1_Tl2
- ที่ความละเอียด X2 Encoder Mode จะตั้งค่า STM32CubeMx ในขา TIM ที่ Encoder Mode Tl1 หรือ Encoder Mode Tl2
- ที่ความละเอียด X4 Encoder Mode จะตั้งค่า STM32CubeMx ในขา TIM ที่ Encoder Mode Tl1 and Tl2

2.9.3 การสร้าง MATLAB Function เพื่อคำนวณค่า Count ในการหา Relative Position และ Angular position ด้วยวิธีการ unwrap และ หาค่า Angular velocity



```

1 function [x1encoder, velocity,position] = fcn(count, homing)
2     persistent encoderCount;
3     persistent prev_Count;
4     persistent prev_EncoderCount;
5
6     PPR = 24;
7
8     if isempty(prev_Count)
9         prev_Count = count;
10    end
11    if isempty(encoderCount)
12        encoderCount = 0;
13    end
14    if isempty(prev_EncoderCount)
15        prev_EncoderCount = 0;
16    end
17
18    if homing > 0
19        prev_Count = count;
20        prev_EncoderCount = 0;
21        encoderCount = 0;
22    end
23    if prev_Count > 65000 && count < 1000
24        encoderCount = encoderCount + (count + (65520 - prev_Count));
25    elseif prev_Count < 1000 && count > 65000
26        encoderCount = encoderCount - ((65520 - count) + prev_Count);
27    else
28        encoderCount = encoderCount + (count - prev_Count);
29    end
30
31    deltaCount = encoderCount - prev_EncoderCount;
32    velocity = (deltaCount / PPR);
33    position = (encoderCount/ PPR) *2 ;
34    samplingRate = 10;
35    velocity = velocity * samplingRate * 2 * pi;
36    prev_Count = count;
37    prev_EncoderCount = encoderCount;
38    x1encoder = encoderCount;
39
40 end

```

รูปภาพแสดงการเขียนโปรแกรมในการทำ unwrap ในการอ่านค่า Encoder แบบ QEI

สร้าง Function ที่รับ Input จาก count ที่มาจากการอ่านค่า Pulse ผ่าน block Encoder และ homing จาก block Digital Port Read ที่อ่านสัญญาณจาก ปุ่มกดบนบอร์ด STM32 และมี output เป็น x1encoder และ velocity

ประกาศตัวแปรแบบ Persistent(คุณสมบัติในการคงอยู่ของข้อมูลหรือสถานะ)

- encoderCount ที่ใช้ในการเก็บค่าการนับจำนวนที่ได้จากการอ่านค่า Pulse ของ encoder
- prev_Count ในการเก็บค่าก่อนหน้า ค่าปัจจุบันว่ามีค่าเท่าใด
- prev_EncoderCount ในการเก็บค่าตำแหน่งก่อนหน้า เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็ว

สร้างเงื่อนไขเพื่อตรวจสอบ ว่าตัวแปรต่างๆมีค่าหรือไม่ถ้าไม่มีก็ให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ เท่ากับ ค่า Count ปัจจุบัน เพื่อเป็นการตั้งค่าตั้งต้นให้กับการทำงาน

สร้างเงื่อนไขในการเช็คว่ามีสัญญาณดิจิตอลจากการปุ่ม homing เข้ามาหรือไม่ถ้ามีการกด ให้ทำการเคลียร์ค่ากลับสู่ค่าตั้งต้น

เนื่องจากการอ่านค่า Encoder มักจะมีช่วงการนับที่จำกัดหาก encoder หมุนเกิน ค่าการนับจะวนกลับไปที่ 0 หรือหมุนต่ำกว่า 0 ค่าจะวนกลับไปที่ค่ามากสุด ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการกระโดดของค่าการนับ การทำ Unwrap จะช่วยทำให้ค่าการนับมีความต่อเนื่องมากขึ้น จึงสร้างเงื่อนไขในการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบจากค่ามากไปยังศูนย์

ถ้าค่า prev_Count (ค่าการนับก่อนหน้า) สูงกว่า 65000 และค่า count (ค่าการนับปัจจุบัน) ต่ำกว่า 1000 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนจากค่าการนับที่สูงมาก (ใกล้ขอบสูงสุด) ไปยังค่าที่ต่ำมาก (ใกล้ศูนย์) เนื่องจาก encoder อาจทำการรีเซ็ตค่าในกรณีที่ลีบขอบเขต จึงจะเพิ่มค่า count ปัจจุบันให้กับค่าความแตกต่างระหว่างขอบเขตสูงสุด (65520) กับค่า prev_Count ซึ่งเป็นการแก้ไขการกระโดดไปยังค่าต่ำโดยรวมค่าที่หายไปกลับเข้ามา

- ตรวจสอบจากศูนย์ไปค่ามาก

ถ้าค่า prev_Count ต่ำกว่า 1000 และค่า count สูงกว่า 65000 บ่งบอกถึงการเปลี่ยนจากค่าการนับที่ต่ำมาก (ใกล้ศูนย์) ไปยังค่าที่สูงมาก (ใกล้ขอบสูงสุด) จึงลบค่าความแตกต่างระหว่างขอบเขตสูงสุด (65520) และ count ปัจจุบัน รวมกับค่า prev_Count ซึ่งเป็นการแก้ไขการกระโดดไปยังค่าสูง หากไม่เข้าเงื่อนไขใดๆ ข้างต้น จะคำนวณค่าการนับตามปกติ โดยการเพิ่มความแตกต่างระหว่าง count และ prev_Count เข้ากับ encoderCount

- Angular Position

หาจำนวนรอบการหมุนของ Encoder จากการ encoderCount หารด้วย Pulses Per Revolution เพื่อแปลงเป็นรอบการหมุนและแปลงเป็นหน่วย rad

- Angular Velocity

สร้างตัวแปรเพื่อใช้ในการหาความเร็ว

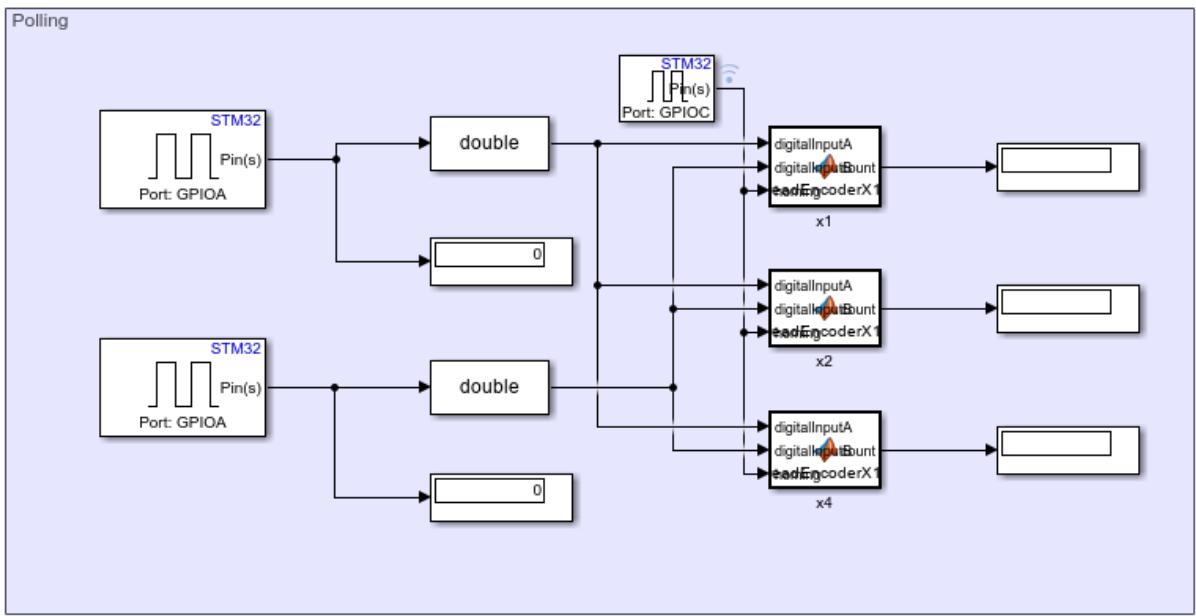
deltaCount = การเปลี่ยนแปลงของค่าการนับจาก encoder ระหว่างการอ่านค่าในสองช่วงเวลา

PPR = จำนวนพัลส์ต่อรอบของ encoder (Pulses Per Revolution)

samplingRate = ค่าความถี่ที่ทำการอ่านค่า

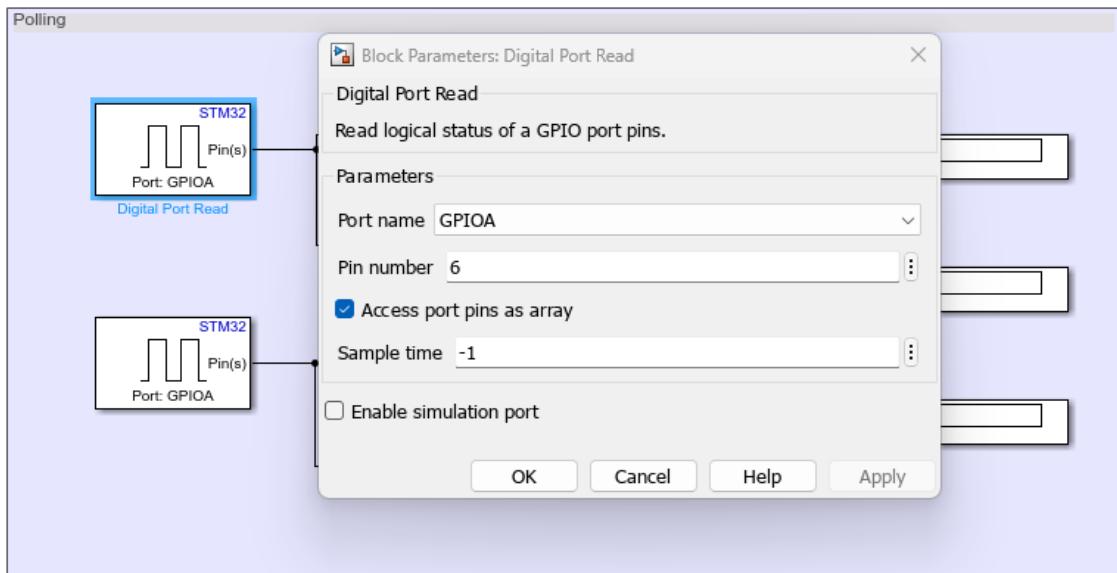
แปลงจำนวนรอบ (revolutions) เป็นเรเดียน (1 รอบ = 2π เรเดียน)

จึงได้ค่า Relative position (Pulse) และ AngularVelocity (rad/s) ออกมาแสดงผลใน Datainspector



รูปภาพแสดงการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method

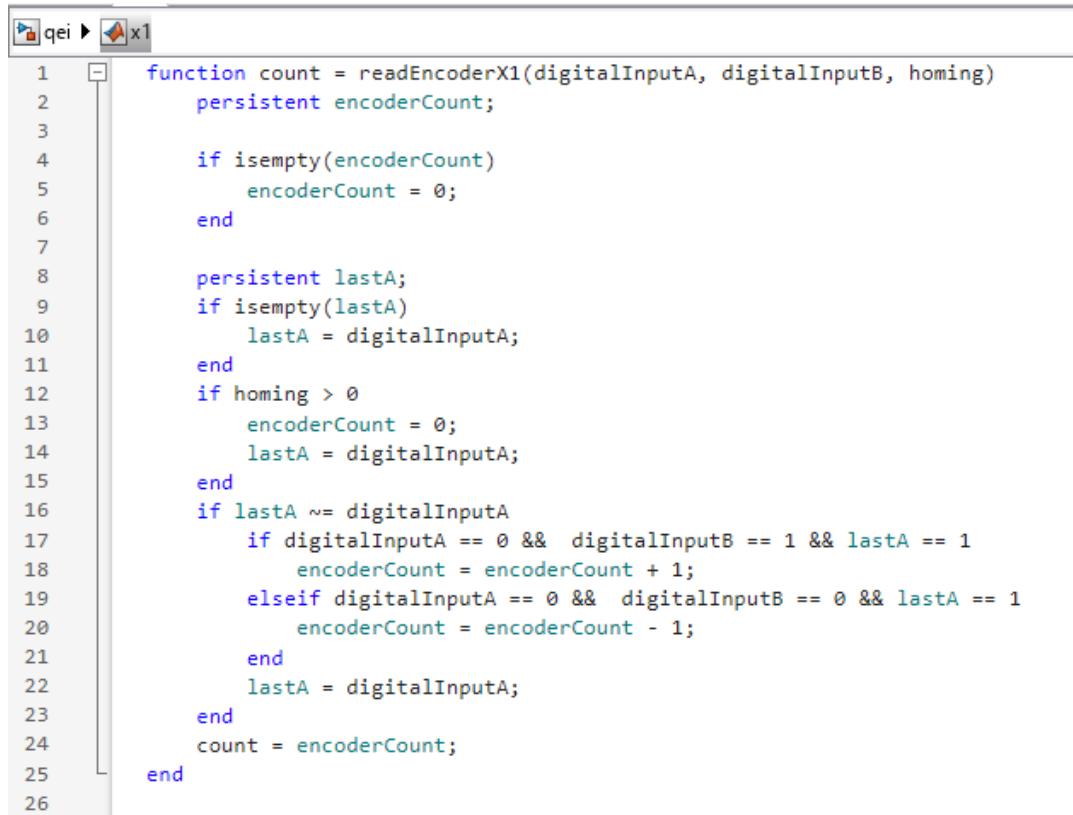
2.9.4 การทดลองด้วย Polling Method



รูปภาพแสดงการตั้งค่าการอ่านค่าแบบวิธี Polling Method

ใช้ Block Digital Port Read ใน Simulink เพื่อรับสัญญาณ Pulse ที่เข้ามาและคำนวณค่าที่ได้จาก การอ่านค่าโดยตรงด้วย Matlab Function

ทดสอบในสามรูปแบบของการอ่านค่า ได้แก่ x1, x2 และ x4 เพื่อเปรียบเทียบความละเอียดในการอ่าน



```

1 function count = readEncoderX1(digitalInputA, digitalInputB, homing)
2     persistent encoderCount;
3
4     if isempty(encoderCount)
5         encoderCount = 0;
6     end
7
8     persistent lastA;
9     if isempty(lastA)
10        lastA = digitalInputA;
11    end
12    if homing > 0
13        encoderCount = 0;
14        lastA = digitalInputA;
15    end
16    if lastA ~= digitalInputA
17        if digitalInputA == 0 && digitalInputB == 1 && lastA == 1
18            encoderCount = encoderCount + 1;
19        elseif digitalInputA == 0 && digitalInputB == 0 && lastA == 1
20            encoderCount = encoderCount - 1;
21        end
22        lastA = digitalInputA;
23    end
24    count = encoderCount;
25 end
26

```

รูปภาพแสดงการเขียนโปรแกรม ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ความละเอียด x1

2.9.5 การอ่านค่าด้วยความละเอียด X1

สร้าง Function ที่มี input เป็นสัญญาณดิจิตอล A และ B และสัญญาณ ดิจิตอลจากการกดปุ่ม homing บนบอร์ด STM32

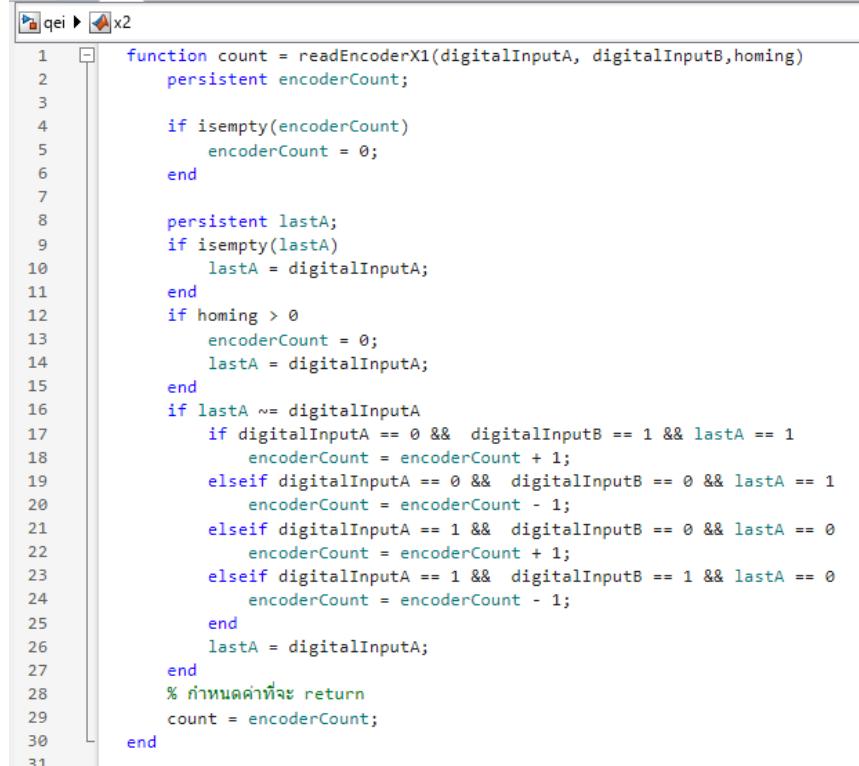
สร้างเงื่อนไขตรวจสอบการอ่าน Pulse จาก Rising Edge (ขอบขาขึ้น) ของสัญญาณ A และใช้สัญญาณ B ในการระบุทิศทางการหมุน

ประกาศตัวแปรแบบ Persistent (คุณสมบัติในการคงอยู่ของข้อมูลหรือสถานะ)

- encoderCount ที่ใช้ในการเก็บค่าการนับจำนวนที่ได้จากการอ่านค่า Pulse ของ encoder
- lastA เก็บค่าก่อนหน้าของสัญญาณ A

สร้างเงื่อนไขเพื่อตรวจสอบ ว่าตัวแปรต่างๆ มีค่าหรือไม่ถ้าไม่มีก็ให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ เท่ากับ ค่า Count ปัจจุบัน เพื่อเป็นการตั้งค่าตั้งต้นให้กับการทำงาน

สร้างเงื่อนไขในการเช็คว่ามีสัญญาณดิจิตอลจากการกดปุ่ม homing เข้ามาหรือไม่ถ้ามีการกดให้ทำการเคลียร์ค่ากลับสู่ค่าตั้งต้น



```

1 function count = readEncoderX1(digitalInputA, digitalInputB,homing)
2     persistent encoderCount;
3
4     if isempty(encoderCount)
5         encoderCount = 0;
6     end
7
8     persistent lastA;
9     if isempty(lastA)
10        lastA = digitalInputA;
11    end
12    if homing > 0
13        encoderCount = 0;
14        lastA = digitalInputA;
15    end
16    if lastA ~= digitalInputA
17        if digitalInputA == 0 && digitalInputB == 1 && lastA == 1
18            encoderCount = encoderCount + 1;
19        elseif digitalInputA == 0 && digitalInputB == 0 && lastA == 1
20            encoderCount = encoderCount - 1;
21        elseif digitalInputA == 1 && digitalInputB == 0 && lastA == 0
22            encoderCount = encoderCount + 1;
23        elseif digitalInputA == 1 && digitalInputB == 1 && lastA == 0
24            encoderCount = encoderCount - 1;
25        end
26        lastA = digitalInputA;
27    end
28    % กำหนดค่าที่จะ return
29    count = encoderCount;
30
31

```

รูปภาพแสดงการเขียนโปรแกรม ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ความละเอียด x2

2.9.6 การอ่านค่าด้วยความละเอียด X2

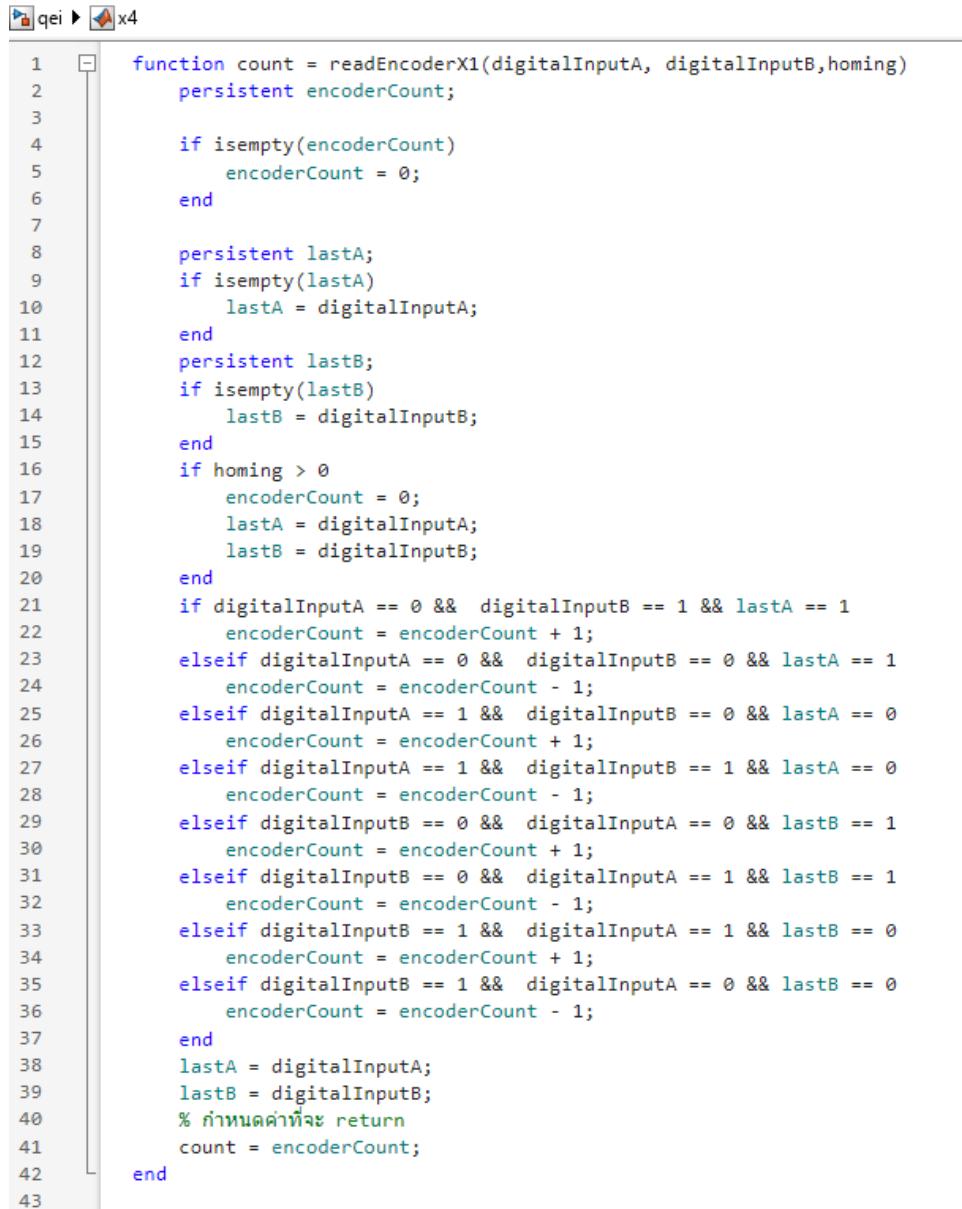
สร้าง Function ที่มี input เป็นสัญญาณดิจิตอล A และ B และสัญญาณ ดิจิตอลจากการกดปุ่ม homing บนบอร์ด STM32

สร้างเงื่อนไขตรวจสอบการอ่าน Pulse จาก Rising Edge (ขอบขาขึ้น) และ Falling Edge ของ สัญญาณ A และใช้ สัญญาณ B ในการระบุทิศทางการหมุน

ประกาศตัวแปรแบบ Persistent (คุณสมบัติในการคงอยู่ของข้อมูลหรือสถานะ)

- encoderCount ที่ใช้ในการเก็บค่าการนับจำนวนที่ได้จากการอ่านค่า Pulse ของ encoder
- lastA เก็บค่าก่อนหน้าของสัญญาณ A

สร้างเงื่อนไขเพื่อตรวจสอบ ว่าตัวแปรต่างๆมีค่าหรือไม่ถ้าไม่มีให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ เท่ากับ ค่า Count ปัจจุบัน เพื่อเป็นการตั้งค่าตั้งต้นให้กับการทำงานสร้างเงื่อนไขในการเช็คว่ามีสัญญาณดิจิตอลจากการ ปุ่ม homing เข้ามาหรือไม่ถ้ามีการกด ให้ทำการเคลียร์ค่ากลับสู่ค่าตั้งต้น



```

1 function count = readEncoderX1(digitalInputA, digitalInputB,homing)
2     persistent encoderCount;
3
4     if isempty(encoderCount)
5         encoderCount = 0;
6     end
7
8     persistent lastA;
9     if isempty(lastA)
10        lastA = digitalInputA;
11    end
12    persistent lastB;
13    if isempty(lastB)
14        lastB = digitalInputB;
15    end
16    if homing > 0
17        encoderCount = 0;
18        lastA = digitalInputA;
19        lastB = digitalInputB;
20    end
21    if digitalInputA == 0 && digitalInputB == 1 && lastA == 1
22        encoderCount = encoderCount + 1;
23    elseif digitalInputA == 0 && digitalInputB == 0 && lastA == 1
24        encoderCount = encoderCount - 1;
25    elseif digitalInputA == 1 && digitalInputB == 0 && lastA == 0
26        encoderCount = encoderCount + 1;
27    elseif digitalInputA == 1 && digitalInputB == 1 && lastA == 0
28        encoderCount = encoderCount - 1;
29    elseif digitalInputB == 0 && digitalInputA == 0 && lastB == 1
30        encoderCount = encoderCount + 1;
31    elseif digitalInputB == 0 && digitalInputA == 1 && lastB == 1
32        encoderCount = encoderCount - 1;
33    elseif digitalInputB == 1 && digitalInputA == 1 && lastB == 0
34        encoderCount = encoderCount + 1;
35    elseif digitalInputB == 1 && digitalInputA == 0 && lastB == 0
36        encoderCount = encoderCount - 1;
37    end
38    lastA = digitalInputA;
39    lastB = digitalInputB;
40    % กำหนดค่าที่จะ return
41    count = encoderCount;
42
43 end

```

รูปภาพแสดงการเขียนโปรแกรม ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ความละเอียด x4

2.9.7 การอ่านค่าด้วยความละเอียด X4

สร้าง Function ที่มี input เป็นสัญญาณดิจิตอล A และ B และสัญญาณ ดิจิตอลจากการกดปุ่ม homing บนบอร์ด STM32

สร้างเงื่อนไขตรวจสอบการอ่าน Pulse จาก Rising Edge (ขอบขาขึ้น) และ Falling Edge ของ สัญญาณ A และ B ใช้ สัญญาณ A ในการระบุทิศทางของสัญญาณ B ใช้ สัญญาณ B ในการระบุทิศทางของ สัญญาณ A

ประกาศตัวแปรแบบ Persistent (คุณสมบัติในการคงอยู่ของข้อมูลหรือสถานะ)

encoderCount ที่ใช้ในการเก็บค่าการนับจำนวนที่ได้จากการอ่านค่า Pulse ของ encoder

lastA เก็บค่าก่อนหน้าของสัญญาณ A

lastB เก็บค่าก่อนหน้าของสัญญาณ B

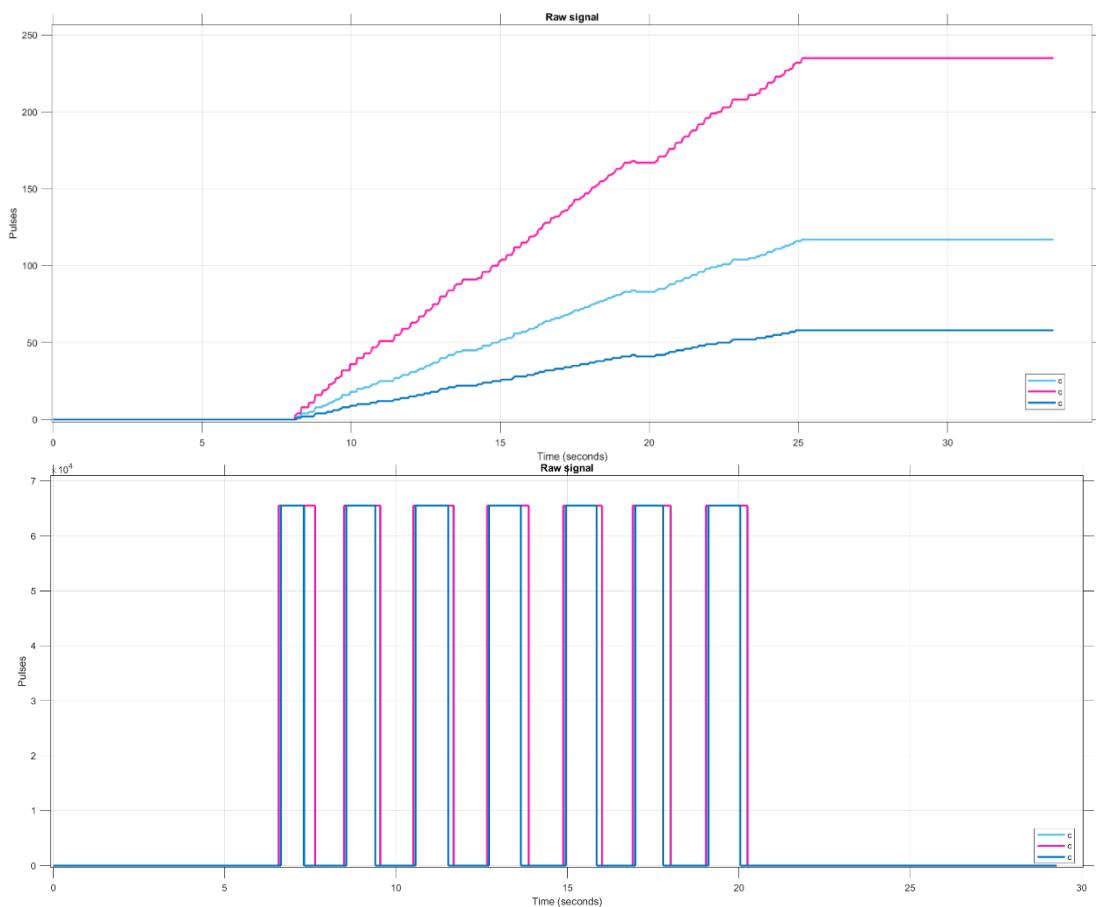
สร้างเงื่อนไขเพื่อตรวจสอบ ว่าตัวแปรต่างๆมีค่าหรือไม่ถ้าไม่มีก็ให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ เท่ากับ ค่า Count ปัจุบัน เพื่อเป็นการตั้งค่าตั้งต้นให้กับการทำงาน

สร้างเงื่อนไขในการเช็คว่ามีสัญญาณดิจิตอลจากการปุ่ม homing เข้ามาหรือไม่ถ้ามีการกด ให้ทำการเคลียร์ค่ากลับสู่ค่าตั้งต้น โดยทั้งหมดจะแสดงผล Relative position ผ่าน Data inspector

2.10 ผลการทดลอง

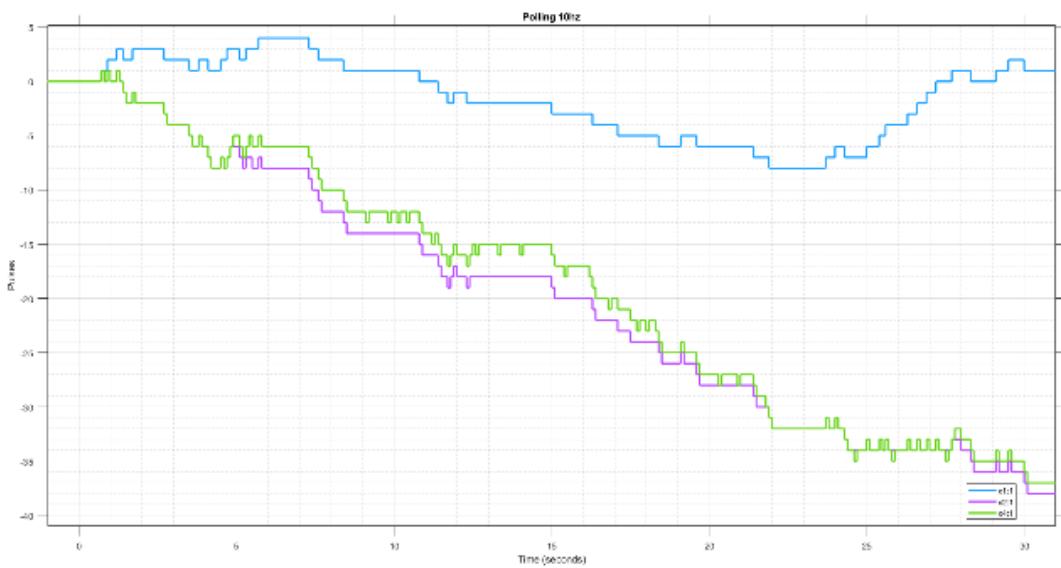
จากการทดลองในครั้งนี้เป็นการตรวจวัดค่าตำแหน่งและความเร็วเชิงมุมจาก QEI (Quadrature Encoder Interface) และ Polling Method ที่ความละเอียด X1 X2 X4 โดยมีการเปรียบเทียบการใช้ Sampling Rate ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10 Hz, 100 Hz และ 1000 Hz ของ Encoder BOURNS PEC11R-4220F-N0024 กับ Incremental Encoder AMT103-V การทดลองถูกแบ่งออกเป็น การวัด 3 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ตำแหน่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และตำแหน่งสัมพัทธ์ ของ Encoder ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองจากราฟที่ได้ดังนี้

2.10.1 BOURNS PEC11R-4220F-N0024



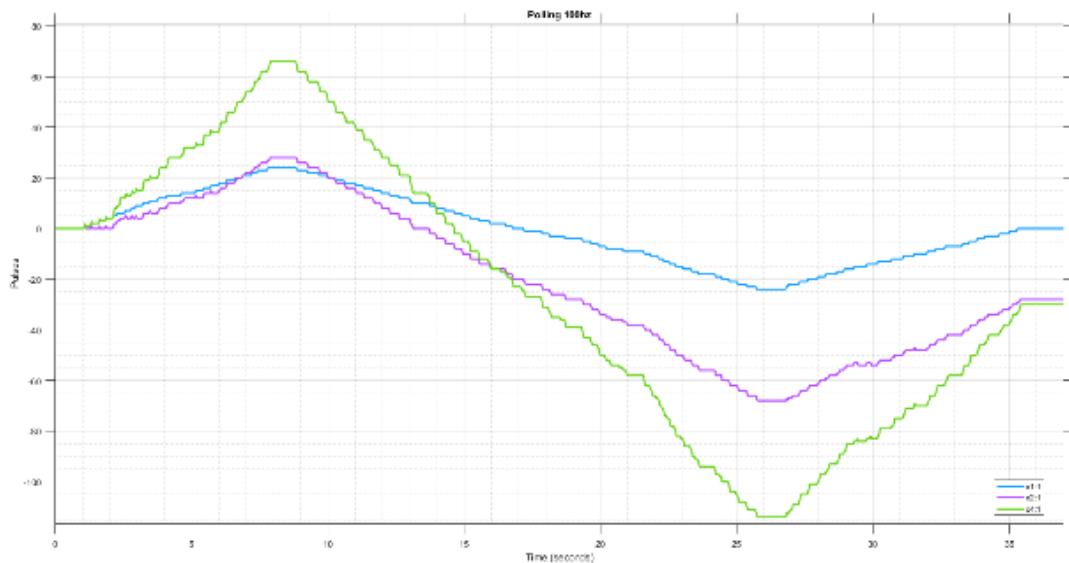
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder แบบ QEI ที่เป็น Raw Signal จาก BOURNS PEC11R-4220F-N0024

จากราฟแสดง Raw signal ที่ได้จากการอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี QEI ที่มีการกำหนด Counter period อยู่ที่ 65520



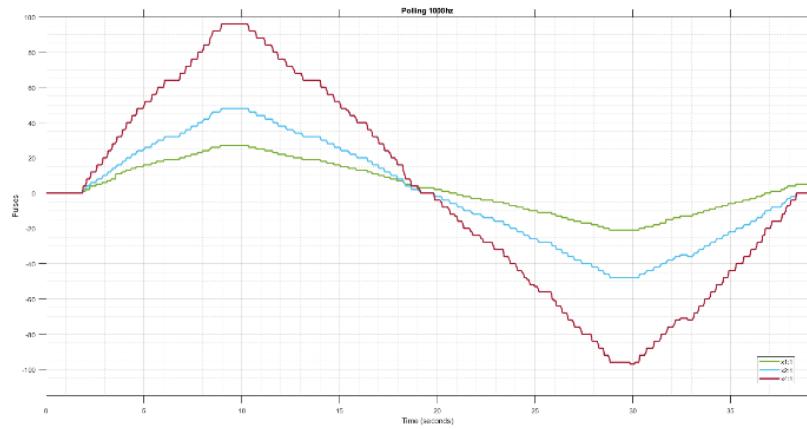
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ SamplingRate 10hz

จากราฟการทดลองอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี Polling Method ที่ SamplingRate 10hz พบร่วมกับไม่สามารถอ่านค่าได้เลย ค่าที่ได้ออกมาไม่มีความไม่ยำและไม่เที่ยงตรง



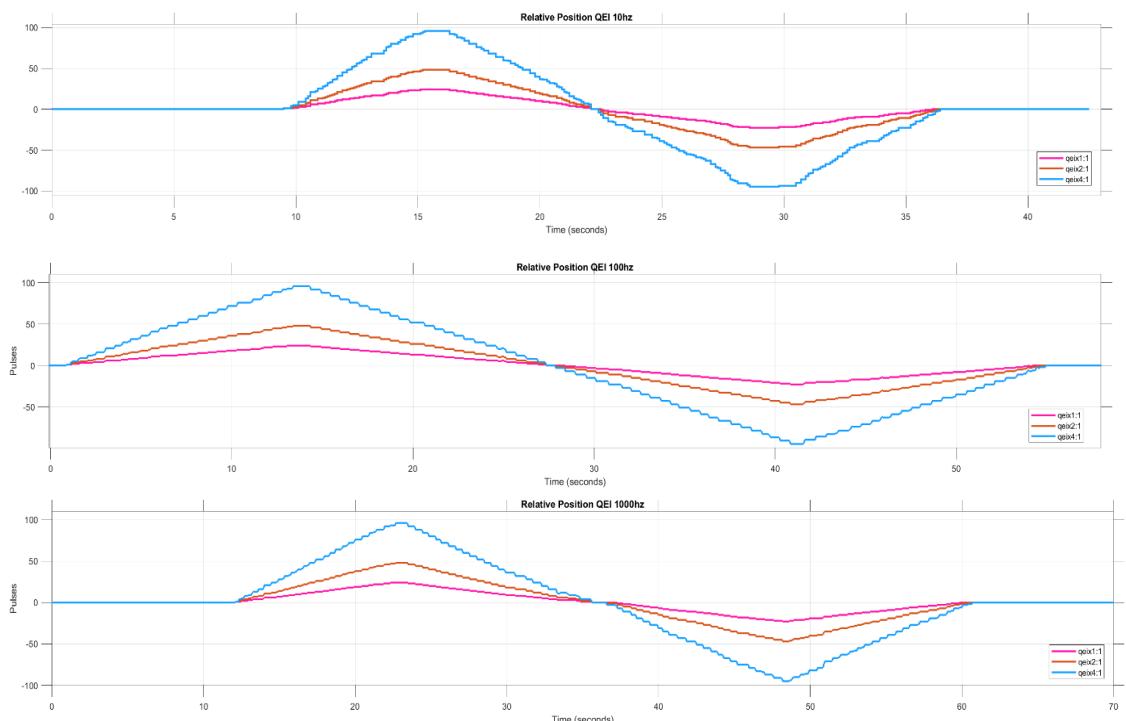
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ SamplingRate 100hz

จากการทดสอบอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี Polling Method ที่ SamplingRate 100hz พบว่า การอ่านค่ามีความแม่นยำมากกว่าที่ 10hz แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงด้วยความเร็วมากๆ ก็อาจทำให้ค่าเกิดการคาดเคลื่อนได้



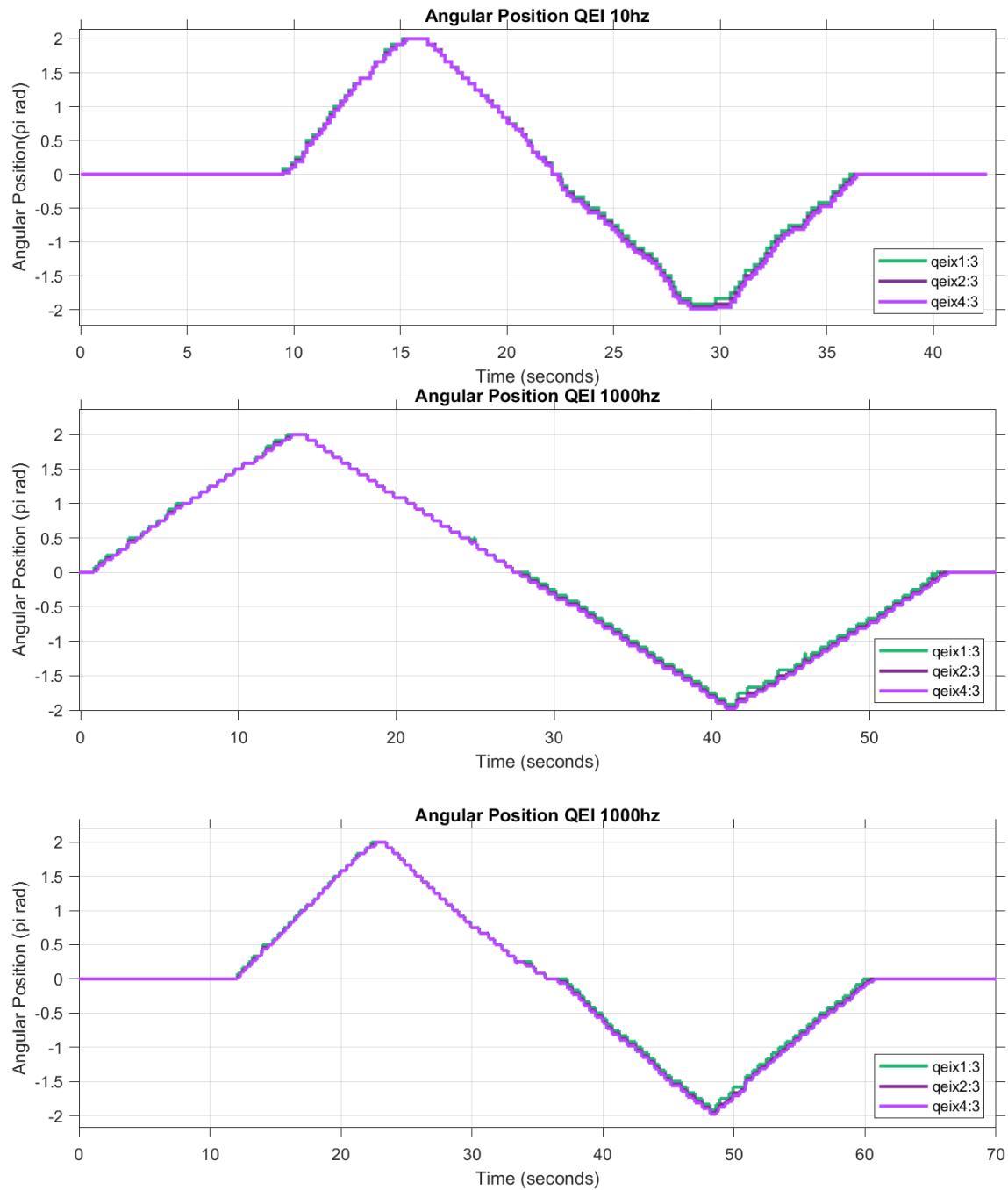
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder แบบ Polling Method ที่ SamplingRate 1000hz

จากการทดสอบอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี Polling Method ที่ SamplingRate 1000hz พบว่า การอ่านค่ามีความแม่นยำมากกว่าที่ 10hz และ 100hz โดยการหมุนความเร็ว Encoder ด้วยมือพบว่า ยังสามารถอ่านค่าได้แม่นยำ



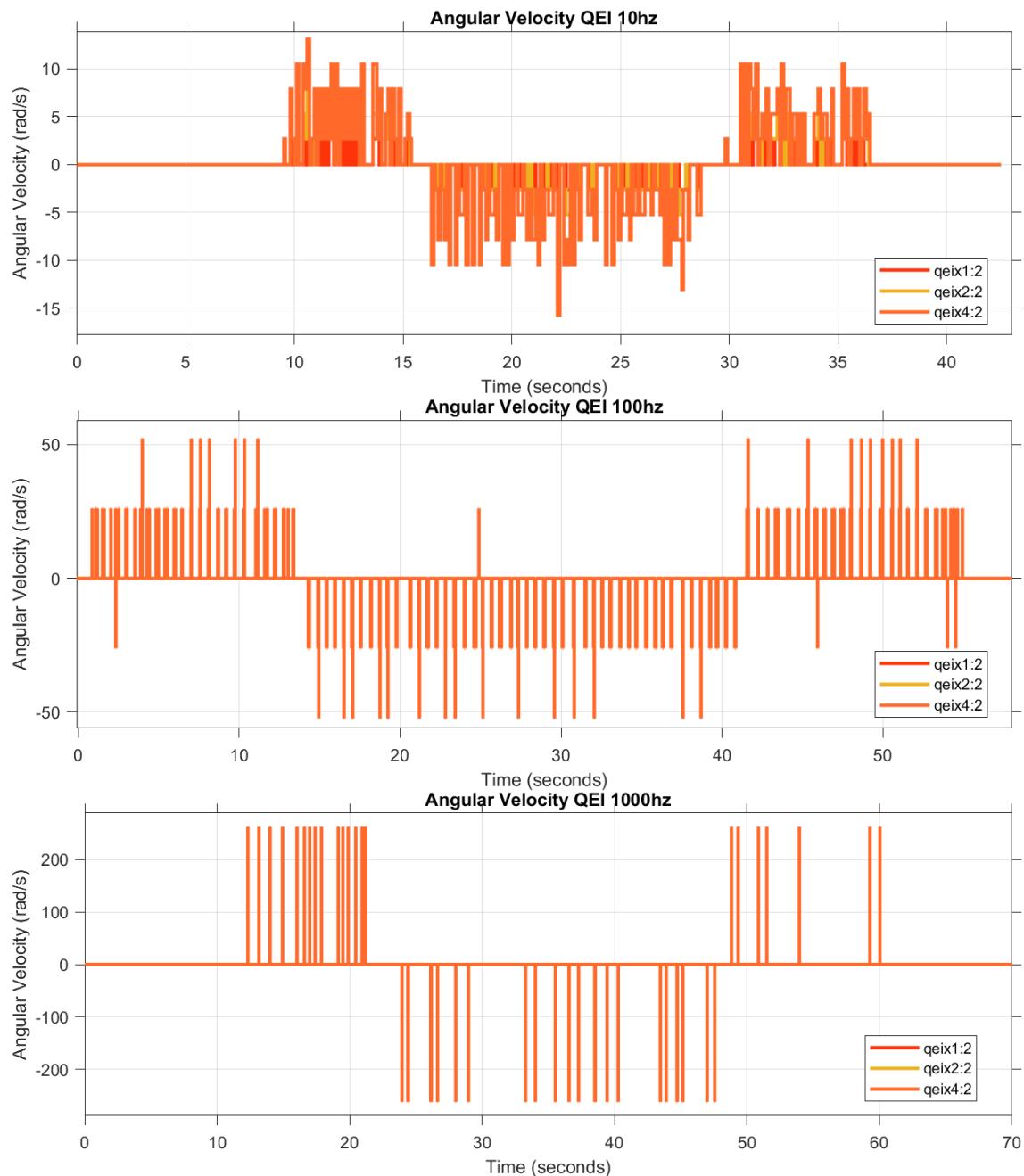
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder วิธี QEI ที่ SamplingRate 10hz 100hz 1000hz

จากราฟการทดลองอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี QEI (Quadrature Encoder Interface) ที่ SamplingRate 10hz 100hz 1000hz พบร่วมกันว่าการอ่านค่ามีความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน



รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder และแปลงเป็นตำแหน่งเชิงมุมด้วยวิธี QEI ที่ SamplingRate
10hz 100hz 1000hz

จากราฟเนื่องจากการอ่านค่า Encoder ด้วยวิธี QEI (Quadrature Encoder Interface) มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากกว่าวิธี Polling Method จึงสามารถนำมาหาค่า ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position)ได้ ซึ่งจากราฟที่ Sampling rate ต่างกัน 10hz 100hz 1000hz ในการอ่านไม่มีความแตกต่างกันมาก



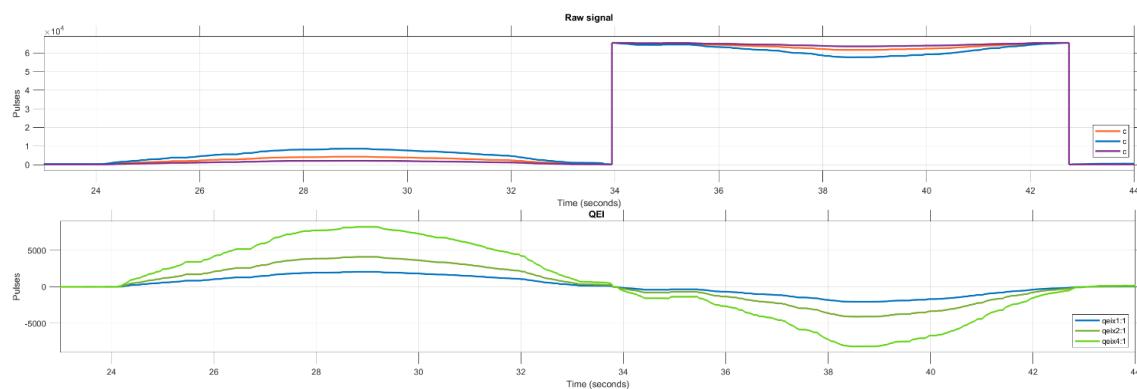
รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder และแปลงเป็นความเร็วเชิงมุมด้วยวิธี QEI ที่ SamplingRate 10hz 100hz 1000hz

จากราฟเนื่องจากการอ่านค่าความเร็วเชิงมุม Encoder ด้วยวิธี QEI (Quadrature Encoder Interface) มีความแม่นยำและเที่ยงตรงแต่การเพิ่ม Sampling Rate ช่วยให้สามารถอ่านค่าความเร็วเชิงมุมได้ละเอียดมากขึ้น โดย Sampling Rate ที่สูงขึ้นทำให้สามารถจับความเร็วในช่วงที่กว้างขึ้นได้ แต่ก็อาจเพิ่มภาระการประมวลผล ดังนั้น ควรเลือก Sampling Rate ตามความต้องการความแม่นยำในการวัดและประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบ

2.10.2 Pulse per revolution (PPR)

จากการทดลองจากการหมุน Encoder BOURNS PEC11R-4220F-N0024 พบร้าการหมุนรอบ 1 รอบ ได้ 24 PPR

Incremental Encoder AMT103-V



รูปภาพแสดงกราฟ ในการอ่านค่า Encoder แบบ QEI ที่เป็น Raw Signal และที่ผ่านการ unwrap แล้ว
Incremental Encoder AMT103-V

- Pulse per revolution (PPR)

จากการทดลองจากการหมุน Encoder Incremental Encoder AMT103-V พบร้าการหมุนรอบ 1 รอบ ได้ ใกล้เคียงกับ datasheet ที่ 2048 PPR

จากการทดลองและอ่านค่ากราฟของ AMT103-V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

AMT103-V เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูง 2048 พลัสด์รอบ (PPR) มีช่องสัญญาณ A, B และ Index (Z) ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบที่ต้องการอ้างอิงตำแหน่งในแต่ละรอบหมุนได้

BOURNS PEC11R-4220F-N0024 แต่มีความละเอียดต่ำและไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความแม่นยำซึ่งการเปรียบเทียบระหว่าง Encoder BOURNS PEC11R-4220F-N0024 กับ Incremental Encoder AMT103-V มีความละเอียดที่ต่างกันมาก

2.11 สรุปผล

การทดลองในครั้งนี้เป็นการตรวจวัดค่าตำแหน่งและความเร็วเชิงมุมจาก QEI (Quadrature Encoder Interface) และ Polling Method ที่ความละเอียดต่างกัน ได้แก่ X1, X2 และ X4 เปรียบเทียบการใช้ Sampling Rate ที่แตกต่างกัน คือ 10 Hz, 100 Hz และ 1000 Hz และความแตกต่างระหว่าง Encoder BOURNS PEC11R-4220F-N0024 กับ Incremental Encoder AMT103-V โดยการทดลองแบ่งออกเป็นการวัด 3 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ตำแหน่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และตำแหน่งสัมพัทธ์ของ Encoder ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้:

QEI จะอ่านค่าสัญญาณจาก encoder แบบต่อเนื่องและสามารถจับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งและทิศทางได้แม่นยำกว่าการใช้ Polling Method ซึ่ง Polling Method อาจไม่ทันกับการเปลี่ยนแปลงในบางกรณีและต้องอาศัยการตั้งค่าความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

AMT103-V เหมาะกับงานที่ต้องการความแม่นยำและทนทานสูงความละเอียดที่ 2048 PPR ส่วน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ความละเอียดที่ 24 PPR เหมาะสำหรับการใช้งานในงานควบคุมทั่วไปที่ไม่ต้องการความละเอียดสูง

การเพิ่มความละเอียด (X1, X2, X4) และ Sampling Rate (10 Hz, 100 Hz, 1000 Hz) ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความละเอียดในการวัดค่าตำแหน่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และตำแหน่งสัมพัทธ์ของ Encoder อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม Sampling Rate สูงเกินไปจะเพิ่มภาระในการประมวลผล ดังนั้นควรเลือกความละเอียดและ Sampling Rate ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่ต้องการ เช่น หากต้องการวัดความเร็วหรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่รวดเร็ว ควรใช้ Sampling Rate ที่สูงขึ้น แต่ถ้าเน้นความต่อเนื่องในระยะยาวและลดการใช้ทรัพยากรควรใช้ Sampling Rate ที่ต่ำลง

2.12 อภิปรายผล

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ QEI Method มีความแม่นยำและรวดเร็วในการอ่านค่ามากกว่า Polling Method เนื่องจาก QEI สามารถอ่านค่าสัญญาณจาก Incremental Encoder ได้แบบต่อเนื่องและมีการตอบสนองที่รวดเร็ว ซึ่งช่วยลดการพลาดของข้อมูลเมื่อตำแหน่งหรือความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ Polling Method มีการอ่านค่าเป็นช่วง ๆ ตาม Sampling Rate ที่กำหนด ทำให้เหมาะสมกับกรณีที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากหรือต้องการความสะดวกในการติดตั้งและประหยัดทรัพยากรระบบ

การเลือกใช้ Sampling Rate และ ค่าความละเอียด (X1, X2, X4) มีผลอย่างมากต่อความละเอียดของข้อมูล โดย Sampling Rate ที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งและความเร็วได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ค่าความละเอียด X4 จะให้ข้อมูลที่ละเอียดมากกว่า X1 แต่จะต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลที่มากขึ้น

ค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองนี้อาจมาจากปัจจัยดังต่อไปนี้:

- การหมุนเก็บค่า: การหมุนเก็บค่าด้วยคนสามารถส่งผลต่อความแม่นยำของการทดลองได้ โดยเฉพาะความเสถียรของการหมุน และ ความเร็วในการหมุน ที่อาจไม่คงที่ ซึ่งทำให้การอ่านค่าตำแหน่งและความเร็วเชิงมุมจาก encoder มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สม่ำเสมอ
- คลาดเคลื่อนได้สัญญาณรบกวน (Signal Noise): การรบกวนจากแหล่งสัญญาณภายนอก เช่น แรงสั่นสะเทือน การสั่นไหวของอุปกรณ์ หรือสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่เสถียร อาจส่งผลให้ค่าที่อ่านได้มีถูกต้องหรือผิดพลาดได้ โดยเฉพาะในการทดลองที่มีความละเอียดสูง
- ข้อจำกัดของ Sampling Rate: การเลือก Sampling Rate ต่ำอาจทำให้พลาดการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งหรือความเร็วบางส่วน ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ต่อเนื่องและขาดความแม่นยำ โดยเฉพาะในการใช้งานที่ต้องการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
- ความไม่เสถียรของ Encoder: Encoder ที่ใช้ในการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนทางกลไก เช่น การหมุนที่ไม่เสถียรหรือมีการสึกหรอ ทำให้สัญญาณที่อ่านได้มีความผิดพลาดได้
- ข้อผิดพลาดในการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Config Parameter Errors): การตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมใน IOC หรือระบบอ่านค่า เช่น ค่าความละเอียดและความถี่ของ Sampling Rate ที่ไม่สอดคล้องกับการใช้งาน ทำให้เกิดการอ่านค่าผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้
- ความล่าช้าในการประมวลผล (Processing Delay): เมื่อใช้ Sampling Rate สูงหรือค่าความละเอียดสูง การประมวลผลข้อมูลอาจเกิดความล่าช้า ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของข้อมูลที่ได้
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม: สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสามารถส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของ encoder และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

2.13 ข้อเสนอแนะ

2.13.1 เพิ่มความเสถียรในการหมุน

ใช้มอเตอร์ช่วยหมุนเพื่อลดการสั่นสะเทือนและทำให้ความเร็วคงที่มากขึ้น ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการอ่านค่าจาก Encoder ได้ดีกว่าการหมุนด้วยมือ

2.13.2 ลดการรบกวนจากสัญญาณภายนอก

ใช้สายสัญญาณที่มีการป้องกัน (shielded cables) และเพิ่มตัวกันสั่นสะเทือน เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนและเพิ่มความเสถียรในการวัด

2.13.3 ตั้ง Sampling Rate และความละเอียดให้เหมาะสม

เลือก Sampling Rate และค่าความละเอียด (X_1, X_2, X_4) ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน หากต้องการความละเอียดสูง ควรเลือก Sampling Rate สูง แต่หากไม่ต้องการข้อมูลละเอียดมากควรลดลงเพื่อลดการใช้ทรัพยากร

2.13.4 ตรวจสอบและบำรุงรักษา Encoder อย่างสม่ำเสมอ

เพื่อลดโอกาสการคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเสื่อมสภาพ ควรตรวจสอบ Encoder ก่อนการใช้งานและบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2.13.5 ตั้งค่าพารามิเตอร์ใน IOC ให้เหมาะสม

ตรวจสอบและปรับค่าคอนฟิกพารามิเตอร์ใน IOC ให้เหมาะสมกับการอ่านค่าที่ต้องการ ทั้งค่าความละเอียดและ Sampling Rate ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการอ่านข้อมูล

2.13.6 ปรับปรุงระบบประมวลผลให้รองรับข้อมูล lokaleiyit สูง

หากใช้ Sampling Rate และความละเอียดสูง ควรเพิ่มประสิทธิภาพระบบประมวลผลเพื่อให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว ลดความล่าช้าในการแสดงผล

2.13.7 ควบคุมสภาพแวดล้อมการทดลอง

ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่ทดลองเพื่อลดผลกระทบต่อความเสถียรและความแม่นยำของ Encoder รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

2.14 เอกสารอ้างอิง

Mbed. ST Nucleo-G474RE. Retrieved from สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

CUI Inc. AMT103 Datasheet. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from AllDatasheet:

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

Bourns, Inc. PEC11R Datasheet. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024. Retrieved from

AllDatasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/556214/BOURNS/PEC11R.html>

ATProSound. Sampling Rate. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024. Retrieved from

https://www.atprosound.com/sampling-rate/?srsltid=AfmBOoqXUczchqEbl9wupoLIT6y4kVpscqb_P11ropYtxklZpWlg073B

Stanford University, CCRMA. Phase Unwrapping. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024. Retrieved from https://ccrma.stanford.edu/~jos/fp/Phase_Unwrapping.html

Arduino Forum. The AS5048A Magnetic Rotary Encoder - Reading Data with Arduino (HowTo). สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024. Retrieved from <https://forum.arduino.cc/t/the-as5048a-magnetic-rotary-encoder-reading-data-with-arduino-howto/151572>

Samesky Devices. (n.d.). What is Encoder: PPR, CPR, and LPR? สืบค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2024, จาก https://www.sameskydevices.com/blog/what-is-encoder-ppr-cpr-and-lpr?srsltid=AfmBOoqtBxcaZmrj8fJz7y_6M51NtgSaOW7XH02fX8P-tTrtDU0qM4jn

Inventor. (n.d.). ความรู้เบื้องต้นของสัญญาณพัลส์. สืบค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2024, จาก <https://www.inventor.in.th/home/ความรู้เบื้องต้นของสัญญาณพัลส์/>

Stack Exchange. (n.d.). Prescaler vs Counter Period STM32. สืบค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2024, จาก <https://electronics.stackexchange.com/questions/632838/prescaler-vs-counter-period-stm32>

3. Magnetic sensor

3.1 จุดประสงค์

- เพื่อให้คณะผู้จัดทำสามารถวิเคราะห์และเข้าใจผลการเรียนรู้หลักที่เกี่ยวข้องกับ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
- เพื่อให้คณะผู้จัดทำสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้อย่างถูกต้อง
- เพื่อให้คณะผู้จัดทำสามารถขออธิบายลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เมื่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) เปลี่ยนแปลงไป
- เพื่อให้คณะผู้จัดทำสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)
- เพื่อให้คณะผู้จัดทำสามารถเขียนโปรแกรมและประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink เพื่อสังหารหรือรับค่าร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็นอินพุต และแสดงสัญญาณเอาต์พุตจากการบันทึกสัญญาณ (log) โดยแสดงผลเป็นกราฟผ่าน Data Inspector ใน MATLAB Simulink ให้เห็นว่าสัญญาณเอาต์พุต แปรผันตามสัญญาณอินพุตแบบเรียลไทม์
- เพื่อให้คณะผู้จัดทำเข้าใจและแสดงค่าของสัญญาณเอาต์พุตเป็น Raw Signal และ Magnetic Flux Density ในหน่วยของ SI derived units

3.2 สมมติฐาน

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) จะส่งผลโดยตรงต่อสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor โดยที่สัญญาณ Output จะปรับเชิงเส้นตามการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก หรือตาม ระยะความห่างระหว่าง Magnetic Sensor และ แม่เหล็ก

3.2.2 การใช้แผ่นป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) จะลดผลกระทบจากสนามแม่เหล็กภายนอกต่อ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ทำให้ความแม่นยำในการวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กภายในเพิ่มขึ้น

3.2.3 สัญญาณ Output ที่ได้จากการทดลองจะแสดงเป็นทั้ง Raw Signal และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในหน่วย SI Derived อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริงจากเซ็นเซอร์ โดยการประมวลผลผ่าน MATLAB และ Simulink

3.2.4 การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink จะสามารถสังเคราะห์และรับค่าจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้อย่างถูกต้อง และสามารถแสดงผลสัญญาณ Output ที่ปรับผ่านตามค่าของ Magnetic Flux Density ในรูปแบบกราฟแบบเรียลไทม์

3.3 ตัวแปร

3.3.1 ตัวแปรของการทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าต่อระยะทาง

3.3.1.1 ตัวแปรต้น

- ระยะห่างระหว่าง Magnetic Sensor และแม่เหล็กทราบ

3.3.1.2 ตัวแปรตาม

- สัญญาณแรงดันไฟฟ้า Output ที่วัดได้จาก Magnetic Sensor

3.3.1.3 ตัวแปรควบคุม

- ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบเซ็นเซอร์และบอร์ด Nucleo STM32G474RE
- ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้
- อุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อม
- ตำแหน่งและทิศทางการวางแม่เหล็กกับเซ็นเซอร์

3.3.2 ตัวแปรของการทดลองหาค่า Magnetic Flux Density

3.3.2.1 ตัวแปรต้น

- ระยะห่างระหว่าง Magnetic Sensor และแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเข้มของ Magnetic Flux Density ที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้

3.3.2.2 ตัวแปรตาม

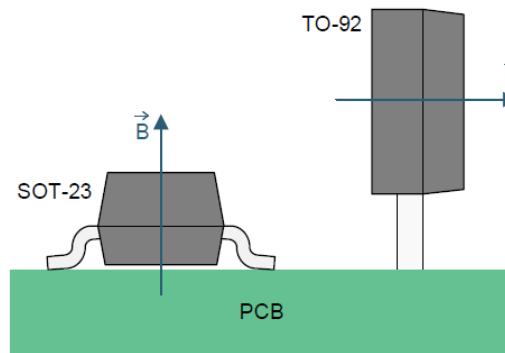
- สัญญาณแรงดันไฟฟ้า Output ที่รับได้จาก Magnetic Sensor
- ค่าความหนาแน่นของ Magnetic Flux Density ในหน่วยมาตราฐาน SI ที่คำนวณและแสดงผลผ่าน MATLAB และ Simulink

3.3.2.3 ตัวแปรควบคุม

- ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบเข็นเซอร์และบอร์ด Nucleo STM32G474RE
- อุณหภูมิในสภาพแวดล้อมการทดลอง
- ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้
- ค่า Sentivity เข็นเซอร์

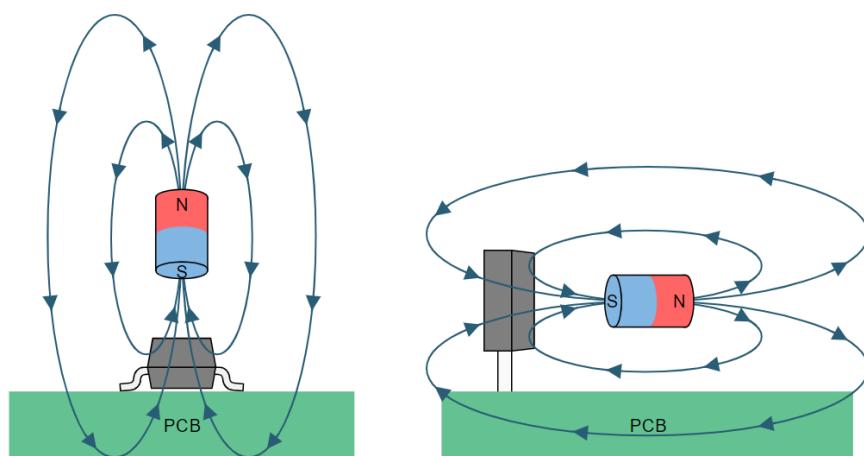
3.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

- ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean): ค่าที่ได้จากการหารผลรวมของชุดข้อมูลด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด
- ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS): ค่าที่ใช้วัดขนาดเฉลี่ยของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงโดยคำนวณจากการหารผลรวมของกำลังสองของข้อมูลด้วยจำนวนข้อมูลและถอดรากที่สอง
- สัญญาณ Analog: สัญญาณที่มีความต่อเนื่องและสามารถมีค่าใดๆ ในช่วงที่กำหนด
- ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density): ปริมาณของสนามแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่โดยมีหน่วยเป็นเทสลา (Tesla, T) หรือเกาส์ (Gauss, G) และเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการอธิบายความแรงของสนามแม่เหล็ก
- การป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding): การใช้วัสดุเพื่อป้องกันหรือบล็อกสนามแม่เหล็กไม่ให้ผ่านเข้าสู่พื้นที่ที่ต้องการป้องกัน ซึ่งช่วยลดการรับกวนของสนามแม่เหล็กต่ออุปกรณ์หรือระบบภายในพื้นที่นั้น
- ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction): ทิศทางการไหลของสนามแม่เหล็ก หรือเส้นแรงแม่เหล็กจากแหล่งกำเนิด เช่น จากขั้วเหนือ (North Pole) ไปยังขั้วใต้ (South Pole) ของแม่เหล็กในเส้นทางวงจรปิด ฟลักซ์แม่เหล็กนี้จะถูกแสดงเป็นเส้นที่วิ่งจากขั้วเหนือของแม่เหล็กหนึ่งผ่านอว拉斯หรือวัสดุและวนกลับเข้าสู่ขั้วใต้



รูปแสดง Direction of Sensitivity

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1002835/TI1/DRV5055.html>



รูปแสดง The Flux Direction for Positive B

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1002835/TI1/DRV5055.html>

- การตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก (Magnetic Response): การตอบสนองของวัสดุหรือวัตถุต่อสนามแม่เหล็กภายในอุปกรณ์ที่ทำการทำ โดยการตอบสนองนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแม่เหล็กของวัสดุนั้น ๆ
- ความเป็นเส้นของความไว (Sensitivity Linearity): ระดับความสอดคล้องหรือความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้ (output) กับการเปลี่ยนแปลงของค่าที่เป็นตัวรับต้น (input) ในอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ที่วัดปริมาณต่างๆ เช่น สนามแม่เหล็ก, อุณหภูมิ, หรือแรงดัน
- Nucleo STM32G474RE: บอร์ดพัฒนาที่ใช้microcontroller STM32 เพื่อช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

- Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect) เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโดยการรับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งแรงดันนี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้

- การหมุนหรือเลื่อนของ Magnetic Sensor หมายถึง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแกน Linear Hall Effect ซึ่งจะวัดเป็นระยะทางในการเลื่อน โดยใช้มั่บรหัสหรือเครื่องวัดระยะที่มีความละเอียด
- ค่าแรงดันไฟฟ้า หมายถึง แรงดันที่วัดได้ที่ปลายขั้วของ Magnetic Sensor โดยรับค่าสัญญาณจากอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะการหมุนหรือการเลื่อนของ Potentiometer และแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

3.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

คือค่าที่ได้จากการผลบวกของชุดข้อมูลที่เป็นตัวเลขแล้วหารด้วยจำนวนของชุดข้อมูล
สูตรในการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตคือ:

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{\sum \text{ค่าของตัวเลขทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัวเลขทั้งหมด}}$$

3.6.2 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS)

ค่าเฉลี่ยกำลังสอง คือค่าที่ใช้วัดขนาดเฉลี่ยของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมา

สูตรในการหาค่าเฉลี่ยกำลังสองคือ:

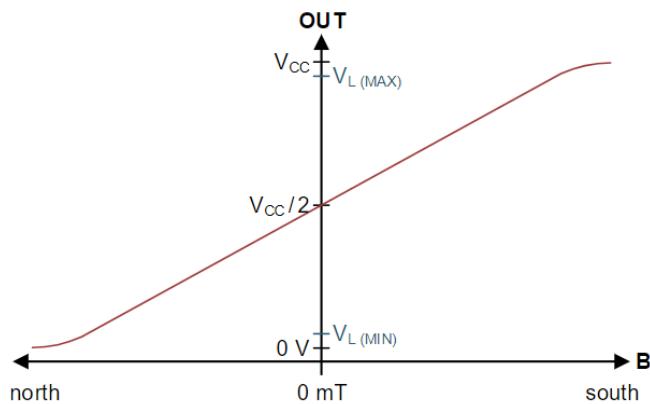
$$\text{ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2}{n}}$$

x_i คือ ค่าของข้อมูลในชุดข้อมูล

n คือ จำนวนของข้อมูล

3.6.3 ค่าการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก (Magnetic Response)

การตอบสนองของวัสดุหรือวัตถุต่อสนามแม่เหล็กภายนอกที่มากระทำ โดยการตอบสนองนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแม่เหล็กของวัสดุนั้น ๆ เมื่อ DRV5055 เปิดเครื่อง DRV5055 จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอนามัยอุปกรณ์ตามสมการ



รูปแสดง กราฟ Magnetic Response

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1002835/TI1/DRV5055.html>

สูตรในการหาค่าการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กคือ:

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

V_Q คือ ครึ่งหนึ่งของ VCC

B คือ ความหนาแน่นของฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่ใช้

$Sensitivity_{(25^\circ C)}$ คือ ครึ่งหนึ่งของ VCC

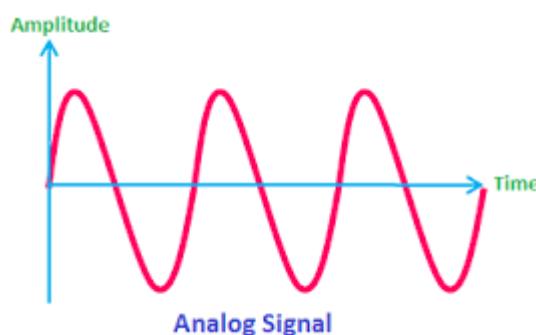
S_{TC} คือ $0.12\%/\text{ }^\circ\text{C}$

T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม

V_{OUT} คือ อยู่ในช่วงของ V_L

3.6.4 สัญญาณ Analog

สัญญาณ Analog คือสัญญาณที่มีความต่อเนื่องและมีขนาดสัญญาณที่ไม่คงที่



รูปแสดง สัญญาณ Analog

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132>

3.6.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นตัวชี้วัดที่ใช้วัดการกระจายตัวของข้อมูลในชุดข้อมูลหนึ่ง ๆ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานบอกให้เรารู้ว่าข้อมูลแต่ละค่ามีความแปรปรวนจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด

สูตรการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}}$$

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

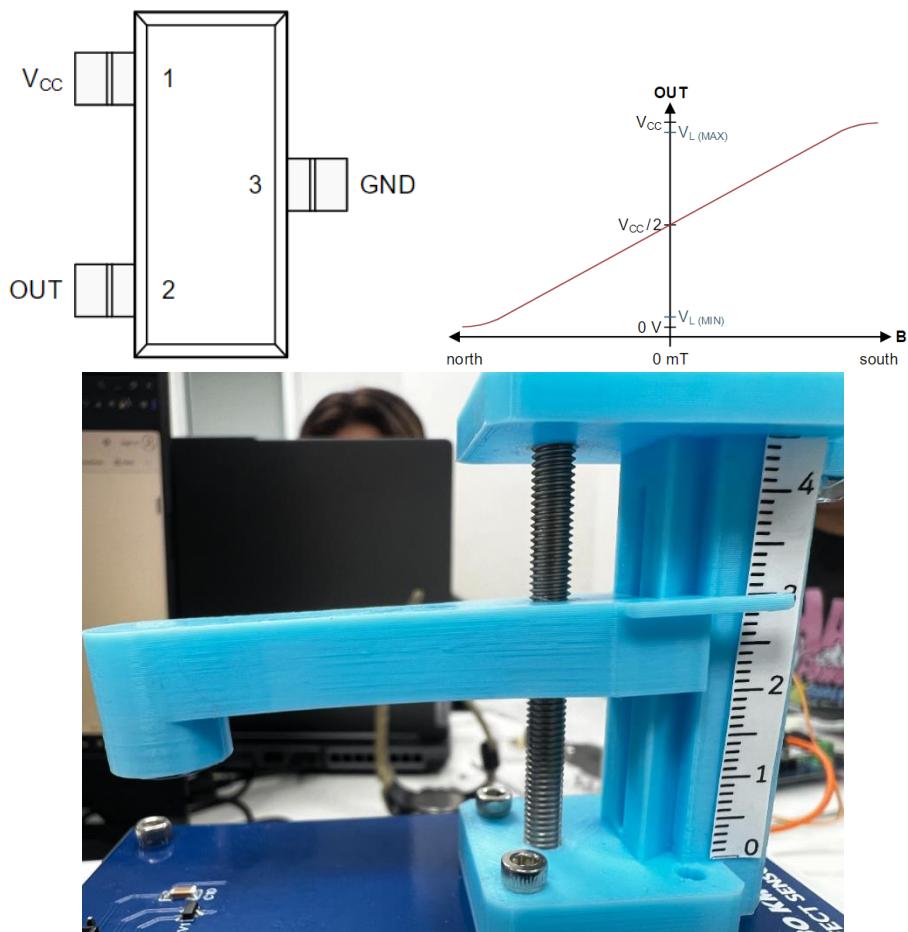
x_i คือ ค่าของข้อมูลแต่ละตัวในชุดข้อมูล

μ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.6.6 วัสดุอุปกรณ์

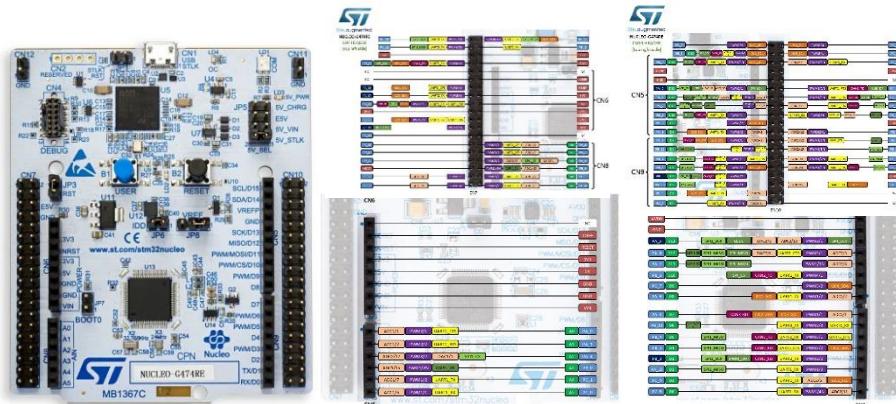
3.6.6.1 DRV5055A4



รูปแสดง Magnetic Sensor ชนิด DRV5055A4 กราฟ Magnetic Response และ Linear Hall Effect

- Quiescent voltage: 1.65 V
- Sensitivity(25°C): 7.5 mV/mT
- Sensitivity temperature compensation for magnets: 0.12 %/ $^{\circ}\text{C}$
- Sensitivity Ratiometry error(25°C): $\pm 2.5 \%$
- ความคลาดเคลื่อนยินยอม: 20%
- Taper Type: Audio
- Datasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1002835/TI1/DRV5055.html>

3.6.6.2 Nucleo STM32G474R



รูปแสดง Nucleo STM32G474RE

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากตระกูล STM32 ซึ่งใช้ชิป ARM Cortex-M4 ที่มีความเร็วสูงสุด 170 MHz หน่วยความจำ Flash ขนาด 512 KB และ RAM ขนาด 128 KB บอร์ดนี้ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีตัวเชื่อมต่อแบบ Arduino และ ST Zio ที่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังมี ST-LINK/V2-1 ในตัว ทำให้สามารถโปรแกรมและติดต่อได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม รองรับการเขียนโปรแกรมผ่าน STM32CubeIDE เหมาะสำหรับการทำโปรเจกต์ที่ต้องการความแม่นยำ

3.7 วิธีดำเนินการทดลอง

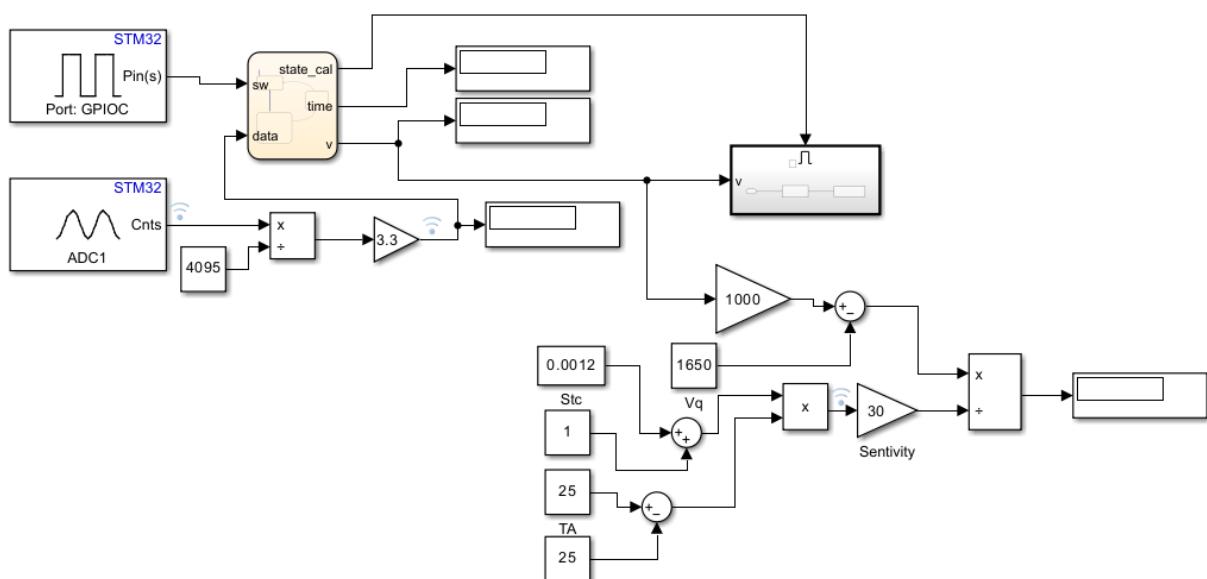
ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองในการระบุชนิดของ Potentiometer เพื่อทดสอบสมมติฐานโดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลการปรับค่าของ Linear Hall Effect โดยบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งความสูงและแต่ละขั้วแม่เหล็ก โดยมีการเก็บค่าจำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งความสูง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและเพิ่มความถี่ยิ่งของข้อมูล จากนั้น จึงนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะพิเศษของสนามแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ของ Magnetic sensor ที่ระบุไว้ใน Datasheet นอกจากนี้ยังมีการนำค่าแรงดันที่ได้มาเปรียบเทียบกับระยะความสูง เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันกับความสูงของขั้ว N และ S โดยคณะผู้จัดทำได้นำ MATLAB และ Simulink มาประยุกต์ใช้ในการสั่งการและรับค่าข้อมูล ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อช่วยในการประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3.8 วัสดุอุปกรณ์

- DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จำนวน 1 ตัว
- Nucleo STM32G474RE จำนวน 1 ตัว
- สายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- MagneticXplorer จำนวน 1 ตัว
- แม่เหล็กการรักบัด Sensor จำนวน 1 ตัว
- สายจัมเปอร์ จำนวน 1 ชุด

3.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

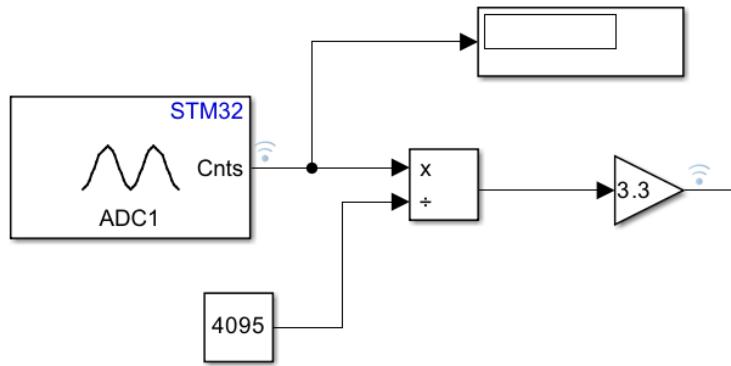


รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการทดลอง

3.9.1 การทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าต่อระยะทาง

ในการทดลองนี้ถูกแบ่งหลักการทำงานออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้

3.9.1.1 การแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

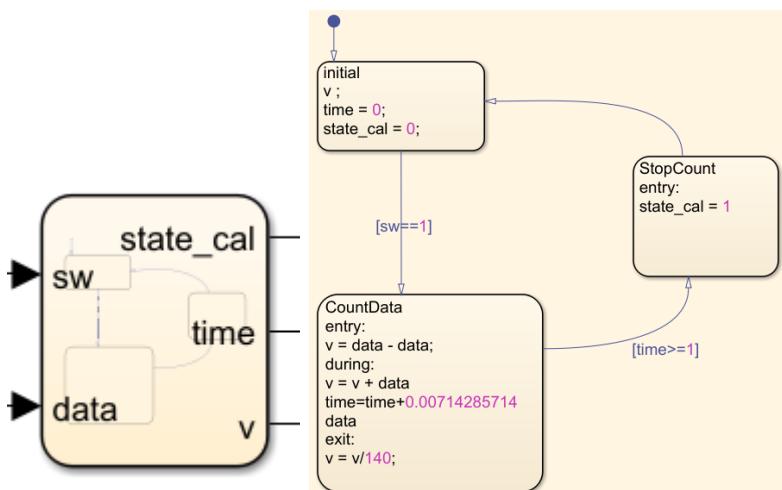


รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

1. การรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะความสูงหรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect โดยใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกจาก Magnetic Sensor ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านและประมวลผลได้ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) โดยใช้บล็อก “Display1” แสดงค่าที่อ่านได้ ณ ขณะนั้น

2. การแปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่อ่านได้มาหารด้วย 4095 และคูณด้วย 3.3 โดยใช้บล็อก “Constant1” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 4095, บล็อก “Divide1” สำหรับหารค่าดิจิทัลด้วย 4095 และบล็อก “Gain1” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 3.3 เพื่อแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt)

3.9.1.2 การนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์



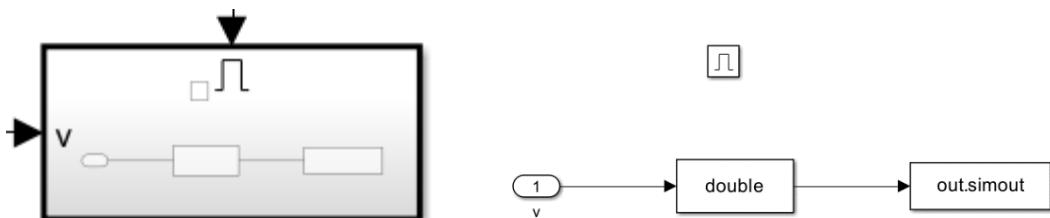
รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์

1. การบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งการหมุนและแต่ละขั้วแม่เหล็ก จะโดยการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่ง เนื่องจากผลการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ตำแหน่งเดิมซ้ำหลายครั้ง มีค่าที่อ่านได้แสดงถึงความกว้างของข้อมูล จึงจำเป็นต้องนำค่าแรงดันจำนวนที่ตำแหน่งเดิม 140 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความคงที่มากยิ่งขึ้น

2. ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ได้มีการทดสอบการเก็บค่าของแรงดันจำนวน ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 200 ค่า ซึ่งพบว่า 140 ค่าดังกล่าวมีความเสถียรและคงที่สุดสำหรับการบันทึกค่าระยะความสูงเดิม หรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการนำค่าแรงดันจำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากันในแต่ละตำแหน่ง ดังนั้นทีมผู้จัดทำจึงเลือกวิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 140 ค่า

โดยในบล็อกชาร์ต(chart) “Arithmetic Mean” จะมีการรับค่าของตัวแปร Input ซึ่งประกอบด้วย “data” ที่แทนค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ซึ่งได้มาจากการปรับค่าระยะความสูงหรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect และ “sw” ซึ่งเป็นค่าที่รับมาจากบล็อก “Digital Port Read” โดยมีหน้าที่ในการตรวจสอบสถานะของปุ่มกดบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE เมื่อมีการกดปุ่ม Digital Port Read จะส่งค่าเป็น HIGH หรือ 1 ไปยังชาร์ต “Arithmetic Mean” ซึ่งจะเริ่มต้นกระบวนการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 140 ค่าในตำแหน่งนั้นๆ ในระหว่างการวนลูป (Loop) เมื่อทำการวนลูปครบแล้ว จะมีการนำค่าที่เก็บมาหารด้วย 140 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน ณ ตำแหน่งนั้น ๆ หลังจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยเสร็จสิ้น จะมีตัวแปร Output คือ “state_cal” สำหรับบ่งบอกสถานะ โดยถ้าการคำนวณเสร็จสิ้น จะกำหนดให้ state_cal = 1, “count_loop” จะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งที่ทำการวนลูป, “time” จะแสดงระยะเวลาในการทำงานของระบบ และ “volt” จะแสดงค่าแรงดันเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 140 ค่า

3.9.1.3 นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace เพื่อนำไป Plot กราฟ



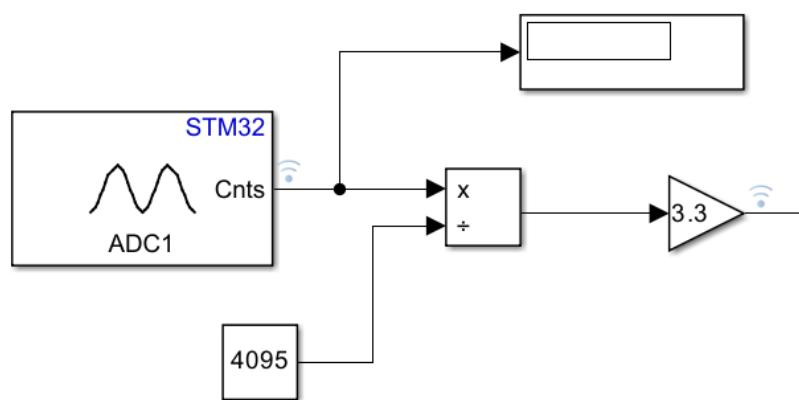
รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการส่งออกค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยไปยัง Workspace

ใช้บล็อก 'Enable Subsystem' โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าตัวเลข ที่ผ่านกระบวนการหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ใช้ในการกระตุน (Trigger) มาจากสัญญาณ state_cal ภายในบล็อกจะมีการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นชนิดข้อมูลแบบ double ก่อนที่จะส่งออกไปยัง Workspace ผ่านบล็อก 'To Workspace' โดยตั้งค่าให้จัดเก็บในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ หลังจากส่งออกข้อมูลแล้ว จะนำค่าที่ได้ทั้งหมดมา Plot เพื่อเปรียบเทียบกับระยะความสูงเดิม หรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect

3.9.2 การทดลองเพื่อหา Magnetic Flux Density

ในการทดลองนี้ถูกแบ่งหลักการทำงานออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

3.9.2.1 การแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

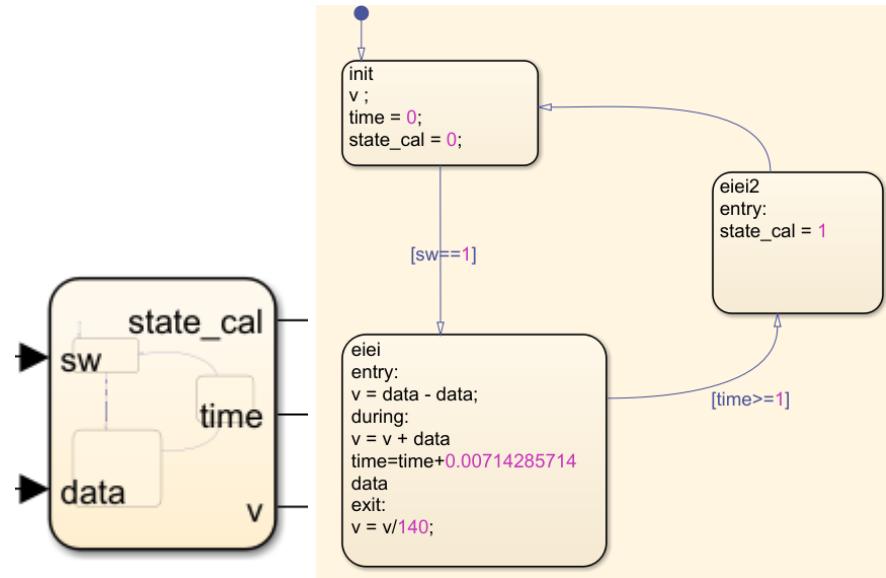


รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการทำงานในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

1. การรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการปรับค่าระยะความสูง หรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect โดยใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกจาก Magnetic Sensor ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไม่ครอบครองโทรศัพท์สามารถอ่านและประมวลผลได้ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) โดยใช้บล็อก “Display1” แสดงค่าที่อ่านได้ ณ ขณะนั้น

2. การแปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่อ่านได้มาหารด้วย 4095 และคูณด้วย 3.3 โดยใช้บล็อก “Constant1” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 4095, บล็อก “Divide1” สำหรับหารค่าดิจิทัลด้วย 4095 และบล็อก “Gain1” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 3.3 เพื่อแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt) เนื่องจาก Potentiometer ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์

3.9.2.2 การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปเคราะห์



รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปเคราะห์

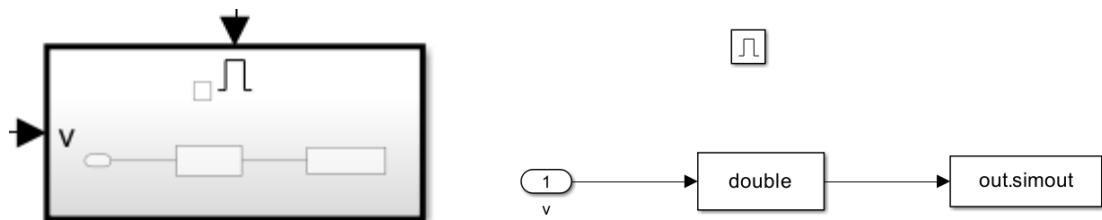
1. การบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งการหมุนจะโดยการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 140 ค่า ในแต่ละตำแหน่ง เนื่องจากผลการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ตำแหน่งเดิมซ้ำหลายครั้งมีค่าที่อ่านได้แสดงถึงความแกว่งของข้อมูล จึงจำเป็นต้องนำค่าแรงดันจำนวนที่ตำแหน่งเดิม 140 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความคงที่มากยิ่งขึ้น

2. ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ได้มีการทดสอบการเก็บค่าของแรงดันจำนวน ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 200 ค่า ซึ่งพบว่า 140 ค่าดังกล่าวมีความเสถียรและคงที่สุดสำหรับการบันทึกค่าระยะความสูงเดิมหรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณค่าแรงดันจำนวน 140 ค่า ในแต่ละตำแหน่งไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากันในแต่ละตำแหน่ง ดังนั้นทีมผู้จัดทำจึงเลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 140 ค่า

โดยในบล็อกชาร์ต (chart) “Arithmetic Mean” จะมีการรับค่าของตัวแปร Input ซึ่งประกอบด้วย “data” ที่แทนค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ซึ่งได้มาจากการปรับค่าระยะความสูงหรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect และ “sw” ซึ่งเป็นค่าที่รับมาจากบล็อก “Digital Port Read” โดยมีหน้าที่ในการตรวจสอบสถานะของปุ่มกดบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE เมื่อมีการกดปุ่ม Digital Port Read จะส่งค่าเป็น HIGH หรือ 1 ไปยังชาร์ต “Arithmetic Mean” ซึ่งจะเริ่มต้นกระบวนการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 140 ค่า ในตำแหน่งนั้นๆ ในระหว่างการวนลูป (Loop) เมื่อทำการวนลูปครบแล้ว จะมีการคำนวณค่าที่เก็บมาหารด้วย 140 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน ณ

ตำแหน่งนั้น ๆ หลังจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยเสร็จสิ้น จะมีตัวแปร Output คือ “state_cal” สำหรับบ่งบอกสถานะ โดยถ้าการคำนวณเสร็จสิ้น จะกำหนดให้ state_cal = 1, “count_loop” จะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งที่ทำการวนลูป, “time” จะแสดงระยะเวลาในการทำงานของระบบ และ “volt” จะแสดงค่าแรงดันเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 140 ค่า

3.9.2.3 นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace เพื่อนำไป Plot กราฟ



รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการนำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace

ใช้บล็อก 'Enable Subsystem' โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าตัวเลขที่ผ่าน กระบวนการหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ใช้ในการกระตุ้น (Trigger) มาจากสัญญาณ state_cal ภายในบล็อกจะมีการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นชนิดข้อมูลแบบ double ก่อนที่จะส่งออกไปยัง Workspace ผ่านบล็อก 'To Workspace' โดยตั้งค่าให้จัดเก็บในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ หลังจากส่งออกข้อมูลแล้ว จะนำค่าที่ได้ทั้งหมดมา Plot เพื่อเปรียบเทียบกับระยะความถูกเดิม หรือการเลื่อนของ Linear Hall Effect

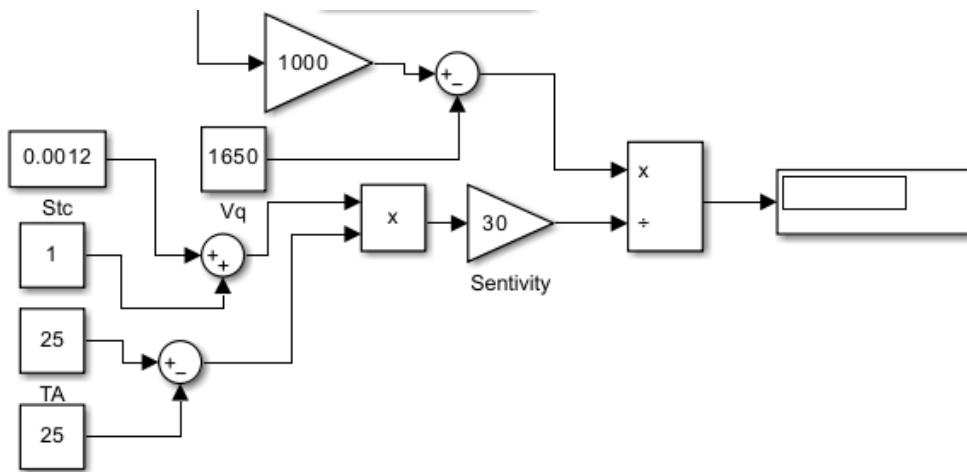
3.9.2.4 นำค่าแรงดันที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) สูตรในการหาค่าการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กคือ:

$$V_{OUT} = V_Q + B \times \left(S_{ensitivity}(25^\circ C) \times (1 + S_{TC} \times (T_A - 25^\circ C)) \right)$$

ทำการแทนค่า

- V_{OUT} เป็นแรงดันที่วัดได้ในหน่วย mV
- V_Q เป็น 1650 mV
- $S_{ensitivity}(25^\circ C)$ เป็น 30 mV/mT ตาม Datasheet
- S_{TC} เป็น 0.12 %/°C
- T_A เป็น 25 °C

จากนั้นทำการย้ายข้างเพื่อหาค่า B จะได้ดังรูป



รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการนำข้อมูลมาคำนวณหา Magnetic Flux Density

3.10 ผลการทดลอง

3.10.1 การทดลองเพื่อนำค่าของแรงดันที่อ่านได้มาวิเคราะห์

หลักจากการที่ แปลงค่าดิจิตลบนัด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt) และทำการทดสอบเก็บค่าข้อมูลของ Magnetic Sensor ชนิด DRV5055 ที่ตำแหน่งการหมุน 50% จำนวน 10 ค่าดังตาราง

ครั้งที่เก็บผลการทดลอง	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์)
1	1.822
2	1.821
3	1.821
4	1.822
5	1.821
6	1.823
7	1.824
8	1.823
9	1.824
10	1.824

จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าค่าที่อ่านได้มีความแปรปรวนของข้อมูล โดยมีค่าการกระจายตัว (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.0057 ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลอง

เพิ่มเติมเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเฉลี่ย เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดิม ให้มีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

3.10.2 การทดลองเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเฉลี่ยเพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดิม ให้มีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าจำนวนข้อมูล ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 200 ค่าโดยทำการทดสอบเก็บค่าข้อมูลของ Magnetic Sensor ชนิด DRV5055 ที่ตำแหน่งการหมุน 50% หรือ 2.7 mm จำนวน 10 ค่าดังตาราง

จำนวนของข้อมูลที่นำ มาหาค่าเฉลี่ย	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์) จำนวน 10 ค่า									
20	1.810	1.814	1.811	1.812	1.811	1.809	1.810	1.809	1.808	1.805
60	1.801	1.801	1.801	1.800	1.801	1.799	1.799	1.798	1.800	1.800
100	1.813	1.815	1.816	1.815	1.816	1.816	1.816	1.817	1.817	1.816
140	1.832	1.832	1.833	1.833	1.832	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833
180	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833
200	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833	1.833

จากการทดลองดังกล่าว พบร่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 20 ถึง 200 ค่า มีความแปรปรวนของข้อมูลเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดลองในช่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 140 ถึง 200 ค่า พบร่วงความเสถียรและคงที่ของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงตัดสินใจเลือกค่าเฉลี่ยของแรงดันจำนวน 140 ค่าในตำแหน่งนั้น ๆ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

3.10.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) เพื่อประเมินความเสถียรของข้อมูล

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของ Magnetic Sensor ชนิด DRV5055 จำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 1 มิลลิเมตร โดยเริ่มเก็บค่าจากตำแหน่ง 0.9 มิลลิเมตร ถึง 4.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งการหมุนมาคำ算法ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเฉลี่ยกำลังสอง โดยมีข้อมูลดังตาราง

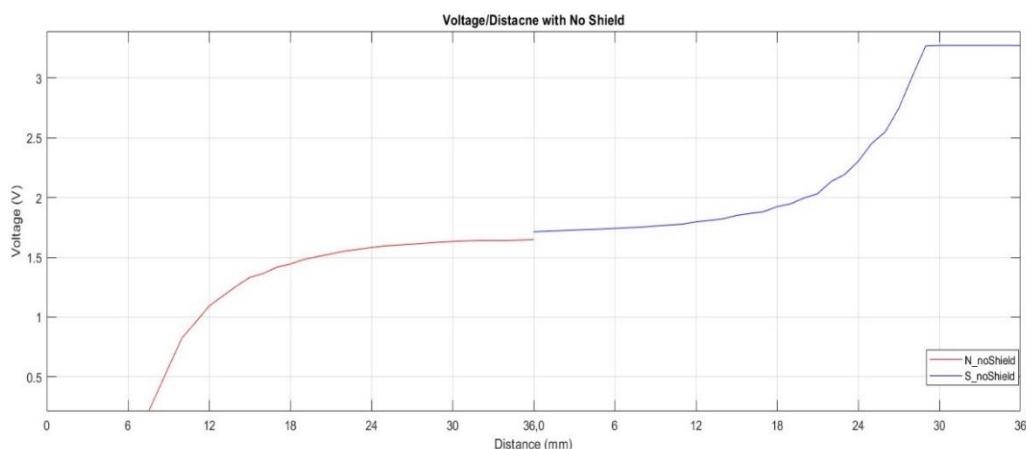
ความสูง (หน่วย มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
0.9	0.065	0.065
1	0.065	0.065
1.1	0.066	0.066
1.2	0.070	0.070
1.3	0.073	0.073
1.4	0.075	0.075
1.5	0.078	0.078
1.6	0.081	0.081
1.7	0.329	0.329
1.8	0.580	0.580
1.9	0.827	0.827
2	0.956	0.956
2.1	1.093	1.093
2.2	1.175	1.175
2.3	1.258	1.258
2.4	1.332	1.332
2.5	1.365	1.365
2.6	1.418	1.418
2.7	1.443	1.443
2.8	1.482	1.482
2.9	1.506	1.506
3	1.528	1.528
3.1	1.552	1.552
3.2	1.566	1.566
3.3	1.583	1.583
3.4	1.596	1.596
3.5	1.603	1.603
3.6	1.611	1.611
3.7	1.618	1.618

ความสูง (หน่วย มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
3.8	1.627	1.627
3.9	1.633	1.633
4	1.637	1.637
4.1	1.642	1.642
4.2	1.642	1.642
4.3	1.641	1.641
4.4	1.644	1.644
4.5	1.648	1.648

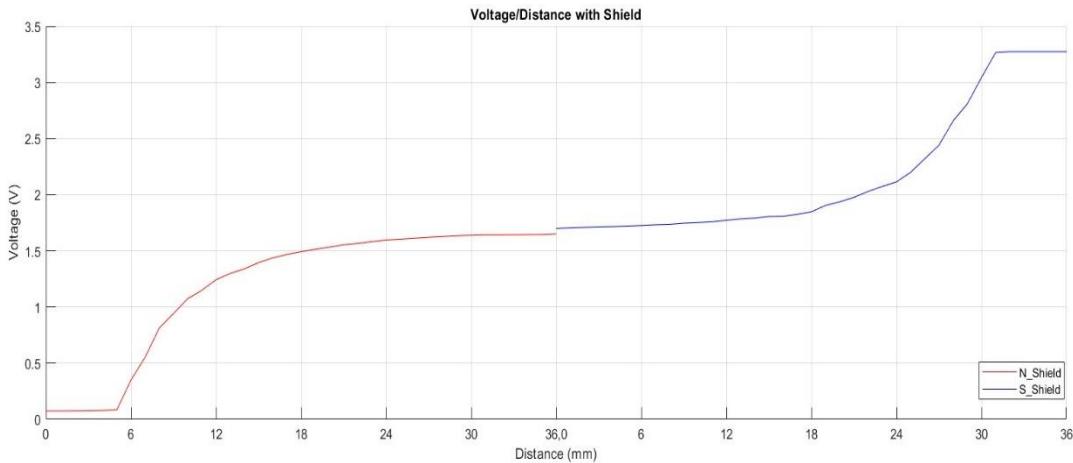
จากการทดลองดังกล่าว พบร่วมกันค่าข้อมูลจำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 1 มิลลิเมตร โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0.9 ถึง 4.5 และนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) พบร่วมกับค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเฉลี่ยกำลังสองในแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากันในทุก ๆ การหมุน ดังนั้น คณผู้จัดทำจึงเลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 140 ค่า

3.10.4 การทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าต่อระยะทาง

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลแรงดันของ Magnetic Sensor ชนิด DRV5055 จำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 1 mm โดยเริ่มเก็บค่าจากตำแหน่ง 0.9 มิลลิเมตร ถึง 4.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งการหมุนมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต จากนั้นกลับขึ้นมาอีก และทำแบบเดียวกัน จากนั้นทำการนำค่าแรงดันทั้งหมดที่ได้มา Plot เทียบกับระยะความสูงของ Linear Hall Effect จะได้กราฟดังตาราง



รูปแสดง กราฟ แรงดันเทียบความสูง แบบไม่มี Shield (Raw Signal without Shield)



รูปแสดง กราฟ แรงดันเทียบความสูง แบบมี Shield (Raw Signal with Shield)

จากราฟทั้งสองภาพ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และระยะทาง (Distance) ของเซนเซอร์ที่วัดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีที่มีการป้องกันสนามแม่เหล็ก (Shield) และกรณีที่ไม่มีการป้องกันสนามแม่เหล็ก (No Shield) โดยจะ มีเส้นกราฟสองเส้น คือ เส้นสีแดง (N_Shield) และเส้นสีน้ำเงิน (S_Shield) ซึ่งเป็นการตอบสนองของขั้วเหนือและขั้วใต้ตามลำดับ ซึ่งจะพบข้อมูลดังนี้:

1. กราฟ Voltage/Distance with Shield:

- ในกราฟที่มีการใช้ Shield (ภาพแรก) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เริ่มต้นจากประมาณ 0 โวลต์ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะห่างจากแหล่งแม่เหล็กลดลง
- ผู้ที่มีขั้วแม่เหล็กเหนือ (N_Shield) แสดงลักษณะการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอของระดับหนึ่ง แต่แรงดันไฟฟ้าไม่สูงเกินไป และคงที่เมื่อเข้าใกล้แม่เหล็กมากที่สุด
- ผู้ที่มีขั้วแม่เหล็กใต้ (S_Shield) แรงดันไฟฟ้าก็เริ่มต้นต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เข้าใกล้ ขั้วแม่เหล็กใต้ เมื่อเข้าใกล้จุดสิ้นสุดของระยะทางแรงดันไฟฟ้าจะเริ่มคงที่

2. กราฟ Voltage/Distance with No Shield:

- กราฟในกรณีที่ไม่มี Shield (ภาพที่สอง) จะมีแนวโน้มคล้ายกับกรณีที่มี Shield แต่มีแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนกว่าเมื่อระยะทางลดลง
- ขั้วแม่เหล็กเหนือ (N_noShield) มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าอย่างชัดเจนในระยะเริ่มต้น และเมื่อเข้าใกล้ขั้วแม่เหล็กแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และคงที่
- ขั้วแม่เหล็กใต้ (S_noShield) ก็มีลักษณะการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเช่นกัน โดยแรงดันไฟฟ้า จะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของระยะทาง

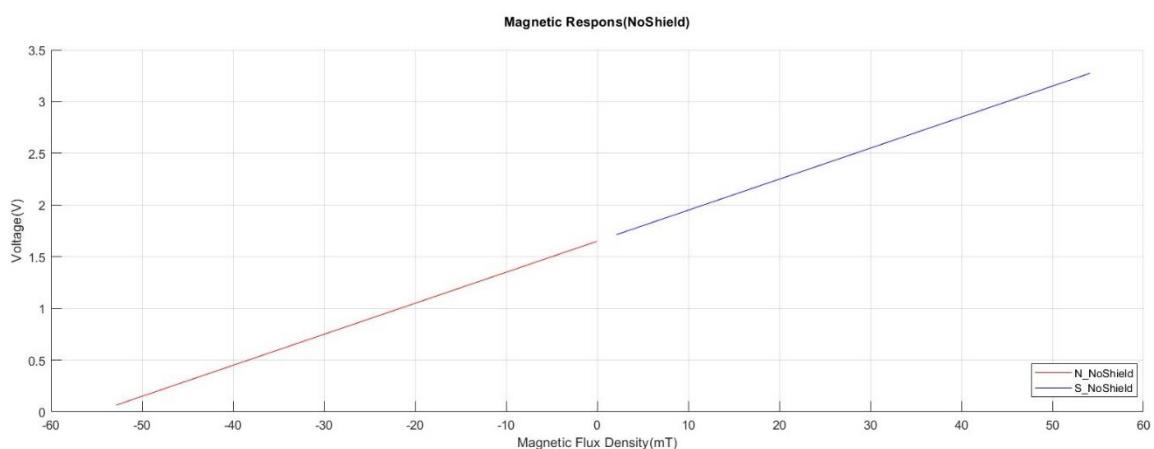
3.10.5 การทดลองคำนวณหาค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

โดยในการทดลองดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลแรงดันของ Magnetic Sensor ชนิด DRV5055 จำนวน 140 ค่าในแต่ละตำแหน่งของการหมุนทุก ๆ 1 มิลลิเมตร โดยเริ่มเก็บค่าจากตำแหน่ง 0.9 มิลลิเมตร ถึง 4.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งการหมุนมาคำนวณแล้วคณิตจากนั้กลับ ขึ้วแม่เหล็กและแบบเดียวกัน จากนั้นแทนลงในสมการในการหาค่า การตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก เพื่อหาค่า ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก จะได้ดังตาราง

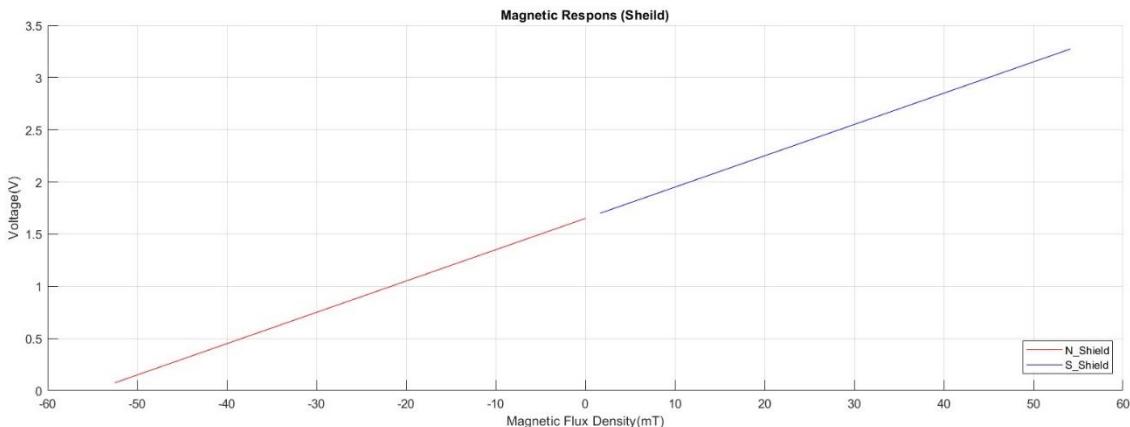
แรงดัน	Magnetic flux density	แรงดัน	Magnetic flux density
0.065	-52.846	1.506	-4.797
0.065	-52.844	1.528	-4.055
0.066	-52.784	1.552	-3.261
0.070	-52.679	1.566	-2.785
0.073	-52.577	1.583	-2.233
0.075	-52.486	1.596	-1.815
0.078	-52.411	1.603	-1.568
0.081	-52.306	1.611	-1.316
0.329	-44.042	1.618	-1.062
0.580	-35.657	1.627	-0.773
0.827	-27.437	1.633	-0.569
0.956	-23.132	1.637	-0.418
1.093	-18.575	1.642	-0.280
1.175	-15.830	1.642	-0.272
1.258	-13.071	1.641	-0.293
1.332	-10.611	1.644	-0.192
1.365	-9.515	1.648	-0.058
1.418	-7.747	1.713	2.110
1.443	-6.898	1.720	2.319
1.482	-5.589	1.723	2.447
1.728	2.611	2.033	12.753
1.733	2.767	2.134	16.136

แรงดัน	Magnetic flux density	แรงดัน	Magnetic flux density
1.737	2.890	2.194	18.121
1.743	3.086	2.303	21.752
1.748	3.280	2.453	26.753
1.753	3.442	2.550	29.995
1.763	3.757	2.746	36.520
1.770	4.016	3.012	45.412
1.778	4.257	3.270	54.000
1.797	4.900	3.274	54.136
1.809	5.304	3.274	54.145
1.822	5.748	3.274	54.138
1.851	6.690	3.274	54.125
1.868	7.255	3.274	54.123
1.882	7.720	3.274	54.127
1.924	9.146	3.273	54.116
1.948	9.937		
1.997	11.561		

จากการทดลองได้ทำการนำค่าแรงดันที่ได้ Plot เทียบกับ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก จะได้กราฟดังภาพ



รูปแสดง กราฟ Magnetic Flux Density แบบไม่มี Shield



รูปแสดง กราฟ Magnetic Flux Density แบบมี Shield

กราฟทั้งสองรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง "Magnetic Flux Density (mT)" กับ "Voltage (V)" ในการตอบสนองของสนามแม่เหล็กในการนี้ที่มีและไม่มีการป้องกัน (Shield) โดยจะ มีเส้นกราฟสองเส้น คือ เส้นสีแดง (N_Shield) และเส้นสีน้ำเงิน (S_Shield) ซึ่งเป็นการตอบสนองของขั้วเหนือและขั้วใต้ตามลำดับ

1. กราฟแรก: Magnetic Response (No Shield)

- กราฟนี้แสดงการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าต่อ Magnetic Flux Density โดยไม่มีการป้องกันแม่เหล็ก (No Shield)
- เส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง (Linear) ที่แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของ Magnetic Flux Density

2. กราฟที่สอง: Magnetic Response (Shield)

- กราฟนี้ แสดงการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าต่อ Magnetic Flux Density เมื่อมีการป้องกันแม่เหล็ก (Shield)
- กราฟมีแนวโน้มคล้ายกับกราฟแรก โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่ความชันอาจแตกต่างจากกราฟที่ไม่มีการป้องกัน
- การป้องกัน (Shield) อาจทำให้การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเรื่องของความชัน ซึ่งแสดงถึงผลของการป้องกันแม่เหล็กในการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.11 สรุปผล

ในการทดลองนี้ เราใช้ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) กับสัญญาณ Output ที่ได้จากเซ็นเซอร์ โดยใช้อมต่อเซ็นเซอร์กับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อให้สามารถรับและประมวลผลข้อมูลได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องตามสมมติฐาน โดยใช้ MATLAB และ Simulink แสดงผลสัญญาณ Output แบบ Real Time บนกราฟ

ผลการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ดังนี้:

- **สมมติฐานที่ 3.2.1:**

พบว่าค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงส่งผลโดยตรงต่อสัญญาณ Output ของเซ็นเซอร์ สัญญาณ Output แปรผันเชิงเส้นตามความเข้มของสนามแม่เหล็กและระยะห่างระหว่าง Magnetic Sensor กับแหล่งแม่เหล็ก ซึ่งแสดงถึงการตอบสนองที่แม่นยำของเซ็นเซอร์ต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก

- **สมมติฐานที่ 3.2.2:**

เมื่อใช้แผ่นป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) พบร้าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลดลง ทำให้การวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กภายใน ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น

- **สมมติฐานที่ 3.2.3:**

สัญญาณ Output ที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง โดยแสดงในรูปแบบของ Raw Signal และ Magnetic Flux Density หน่วย SI ที่สามารถตรวจสอบ ความถูกต้องได้

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ Magnetic Sensor ในการวัดสนามแม่เหล็กสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ Magnetic Flux Density ได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ ค่าความแปรผันของแรงต้าน Output ที่ได้ยังอยู่ภายใต้ช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ระบุใน Data Sheet ของเซ็นเซอร์

3.12 ข้อเสนอแนะ

- ปรับปรุงความแม่นยำของการวัดค่า: แนะนำให้เพิ่มจำนวนการเก็บข้อมูลที่จุดต่างๆ ของระยะห่างระหว่าง Magnetic Sensor และแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเสถียรและแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะในการวัดค่า Magnetic Flux Density ที่ระดับความเข้มต่ำ ซึ่งอาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น
- ทดสอบอุปกรณ์ Magnetic Field Shielding ในสภาพแวดล้อมต่างๆ: เนื่องจาก Magnetic Field Shielding มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอก จึงควรทดสอบการใช้งาน ในสภาพแวดล้อมที่มีสนามแม่เหล็กเข้มข้นหลากหลายระดับ เพื่อยืนยันประสิทธิภาพ การป้องกัน และปรับปรุงการวัดค่า Magnetic Flux Density ให้เหมาะสมกับการใช้งานในสถานการณ์จริง
- ปรับแต่งค่า Threshold ของสัญญาณ Output ใน MATLAB และ Simulink: การทดลองนี้สามารถใช้ค่า Threshold ที่เหมาะสมกับการตั้งค่าความไวของเซ็นเซอร์ให้ตรงกับระดับ Magnetic Flux Density ที่ต้องการวัด แนะนำให้ปรับค่าตัวแปรใน MATLAB และ Simulink เพื่อทำให้สัญญาณ Output มีเสถียรภาพสูงขึ้น และลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน
- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเซ็นเซอร์และอุณหภูมิ: แนะนำให้ทดสอบการทำงานของ Magnetic Sensor ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อคุ้น悉ว่ามีผลกระทบต่อความไวของสัญญาณ Output

อย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การทำงานของเซ็นเซอร์ในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

3.13 เอกสารอ้างอิง

Texas Instruments. (n.d.). *DRV5055 Datasheet*. Retrieved from AllDatasheet: สืบค้นเมื่อ 29 ตุลาคม 2567, จาก <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1002835/TI1/DRV5055.html>

ไพรัมส์ ประเทศไทย. (16 กันยายน 2563). สัญญาณ Analog และ Digital ต่างกันอย่างไร? สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2567, จาก <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132.BI>

Mbed. *ST Nucleo-G474RE*. Retrieved from สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 <https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

Greed Is Goods. (n.d.). ค่า SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://greedisgoods.com/ค่า-sd-คือ-ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน/>

4. Single Point Load Cell with INA125P Instrumentation Amplifier

4.1 จุดประสงค์

- คณผู้จัดทำจะดำเนินการตามการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลักเพื่อประเมินความเข้าใจในหัวข้อที่ศึกษา
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Load Cell, วงจร Wheatstone Bridge, Strain Gauge, และ 2 Op-Amps Differential Amplifier ได้
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ได้เมื่อแรงที่กระทำต่อ Load Cell เปลี่ยนแปลงไป
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gain กับค่าความต้านทานของ Single External Resistor และส่งผลอย่างไรกับการวัดค่าของ Load Cell
- คณผู้จัดทำจะสามารถอธิบายกระบวนการ Signal Conditioning ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบ ว่าค่าที่อ่านได้จาก Load Cell มีที่มาอย่างไร โดยอธิบายถึงวิธีคิดและขั้นตอนทั้งหมดทั้งก่อนและหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (Calibration) รวมถึงความสามารถสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell กับแรงดันไฟฟ้าที่ออกมายจาก Load Cell ทั้งในกรณีที่ยังไม่ผ่าน INA125P และผ่าน INA125P
- คณผู้จัดทำจะต้องสามารถเขียนโปรแกรมโดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก INA125P Instrumentation Amplifier ที่ต่อเข้ากับ Single Point Load Cell เป็น Input
- คณผู้จัดทำจะต้องแสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink เพื่อแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real-Time โดยมี Output เป็นหน่วย SI derived

4.2 สมมติฐาน

- การเพิ่มหรือลดมวลที่กระทำต่อ Load Cell จะทำให้สัญญาณ Output เปลี่ยนไปตามขนาดของมวล โดยคาดว่าสัญญาณนี้จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับมวลที่กระทำ
- วงจร Wheatstone Bridge และ Strain Gauge ภายใน Load Cell จะทำหน้าที่แปลงมวลที่กระทำให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ โดยสัญญาณแรงดัน Output จะแปรผันตรงกับมวลที่เพิ่มหรือลด
- การปรับค่า Gain ในวงจรขยายสัญญาณจะช่วยเพิ่มหรือลดค่าสัญญาณ Output ได้ตรงตามที่ต้องการโดยค่า Gain ที่สูงขึ้นจะทำให้สัญญาณ Output มีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของ Single External Resistor ที่ต่อ กับ Amplifier
- การทำ Signal Conditioning ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการอ่านค่าสัญญาณ Output จาก Load Cell ผ่านการขยายสัญญาณและกรองสัญญาณรบกวน โดยคาดว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่กระทำกับสัญญาณแรงดัน Output จะคงเป็นเชิงเส้นทั้งก่อนและหลังการปรับค่าความแม่นยำ (Calibration)

- การใช้ MATLAB และ Simulink รวมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE จะช่วยแสดงผลสัญญาณ Output ให้เห็นเป็นมวลในหน่วย SI ที่ประนันต์รังกับมวลที่กระทำต่อ Load Cell แบบ Real-Time

4.3 ตัวแปร

4.3.1 ตัวแปรต้น

มวลที่วางบน Load Cell จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output แรงดันไฟฟ้าที่รัดได้

4.3.2 ตัวแปรตาม

- สัญญาณแรงดันไฟฟ้า Output ที่อ่านได้จาก Load Cell ทั้งก่อนและหลังการขยายสัญญาณด้วย INA125 Instrumentation Amplifier
- ค่าหนักที่คำนวณได้หลังจากการประมวลผลสัญญาณ Output โดยแสดงเป็นมวลหน่วย มาตรฐาน

4.3.3 ตัวแปรควบคุม

- ค่า Gain ของ INA125 Instrumentation Amplifier ที่ปรับโดย Single External Resistor เพื่อกำหนดรูดับการขยายสัญญาณของ Load Cell
- ค่าความต้านทานในวงจร Wheatstone Bridge ภายใน Load Cell
- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Load Cell และ INA125 เพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างเสถียร

4.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

- Linear คือความสัมพันธ์หรือพฤติกรรมที่สามารถแสดงออกได้ในรูปแบบเชิงเส้น ซึ่งในบริบทต่าง ๆ มีความหมายที่แตกต่างกันไป แต่หลักการพื้นฐานคือความสัมพันธ์ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอ
- Linearization คือกระบวนการในการประมาณฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นในบริเวณใกล้เคียงกับจุดเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะใช้เพื่อทำให้การวิเคราะห์และการคำนวณในปัญหาที่ซับซ้อนง่ายขึ้น
- Polynomial หรือ พหุนาม คือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยผลรวมของตัวแปรและค่าคงที่

4.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

- มวลถ่วง หมายถึงถุงทราบที่วางบน Load cell โดยมีค่าหนักถุงละ 500 กรัม
- R_G คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานภายนอก (Single External Resistor) ที่เชื่อมต่อกับตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)

4.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.6.1 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณ (Gain)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณในวงจรขยาย (Amplifier)

ที่บ่งบอกว่าแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่าไรเมื่อเทียบกับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าเข้า
สมการการหาค่า Gain :

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \text{ หรือ } G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

G คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณ

R_G คือ ค่าความต้านทานที่เชื่อมต่อระหว่างขา Gain ของ Amplifier

V_{OUT} คือ แรงดัน Output ที่ได้จากการขยายสัญญาณ

V_{IN} คือ แรงดัน Input ที่ป้อนเข้าสู่ Amplifie

4.6.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าออก (V_o)

ค่าแรงดันไฟฟ้าออกที่เป็น Output ของ INA125P Operational Amplifier (Op-Amp)

สมการการหาค่า V_o :

$$V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$$

V_o คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าออก

V_{IN}^+ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตบวก

V_{IN}^- คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตลบ

G คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณ

4.6.3 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetric Mean)

คือค่าที่ได้จากการผลบวกของชุดข้อมูลที่เป็นตัวเลขแล้วหารด้วยจำนวนของชุดข้อมูล

สมการในการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตคือ:

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{\sum \text{ค่าของตัวเลขทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัวเลขทั้งหมด}}$$

4.6.4 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS)

ค่าเฉลี่ยกำลังสอง คือค่าที่ใช้วัดขนาดเฉลี่ยของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมา สูตรในการหาค่าเฉลี่ยกำลังสองคือ:

$$\text{ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2}{n}}$$

x_i คือ ค่าของข้อมูลในชุดข้อมูล

n คือ จำนวนของข้อมูล

4.6.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นตัวชี้วัดที่ใช้วัดการกระจายตัวของข้อมูลในชุดข้อมูลหนึ่ง ๆ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานบอกให้เรารู้ว่าข้อมูลแต่ละค่ามีความแปรปรวนจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด

สูตรการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

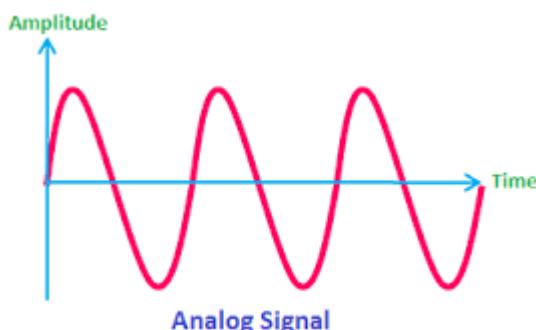
x_i คือ ค่าของข้อมูลแต่ละตัวในชุดข้อมูล

μ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

4.6.6 สัญญาณ Analog

สัญญาณ Analog คือสัญญาณที่มีความต่อเนื่องและมีขนาดสัญญาณที่ไม่คงที่

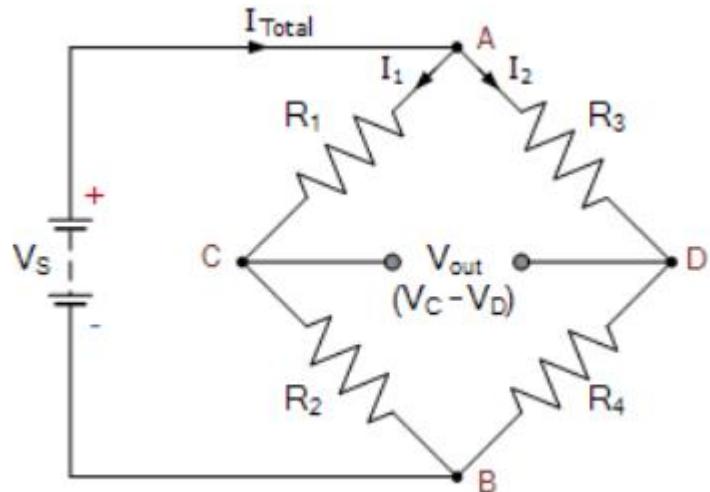


รูปแสดง สัญญาณ Analog

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132>

4.6.7 วงจร Wheatstone bridge

เป็นวงจรที่ใช้ในการวัดความต้านทานของอุปกรณ์โดยเฉพาะกรณีที่ต้องการวัดความต้านทานอย่างแม่นยำ มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวจัดในรูปสี่เหลี่ยม



รูปแสดง วงจร Wheatstone bridge

https://www-electronics-tutorials-ws.translate.goog/blog/wheatstone-bridge.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=t

4.6.8 Strain gauge

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเครียดของวัสดุเมื่อถูกแรงกระทำ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวหรือหดตัวของวัสดุ โดยทั่วไปแล้ว Strain gauge ทำจากวัสดุที่เป็นโลหะบาง ๆ ที่มีความยืดหยุ่นสูง มักติดอยู่บนพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการวัด เมื่อวัตถุเกิดการยืดหรือหด Strain gauge จะเปลี่ยนความต้านทานตามการเปลี่ยนแปลงนั้น ทำให้สามารถใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของความยาว หรือ strain ของวัตถุได้

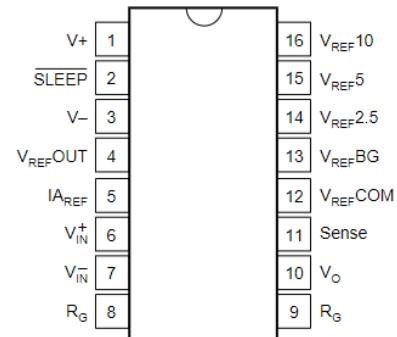
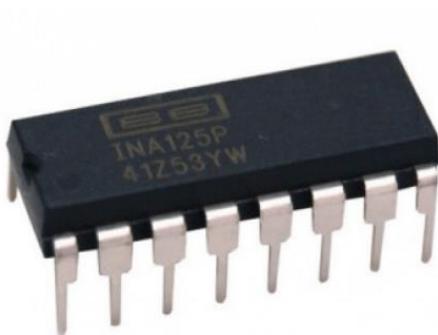


รูปแสดง Strain gauge

<https://www.amazon.com/Aggofory-Mechanics-Experiment-Material-Industry/dp/B0DH2TBC9K>

4.6.9 ວັດຖຸອັກຮຽນ

4.6.9.1 INA125P

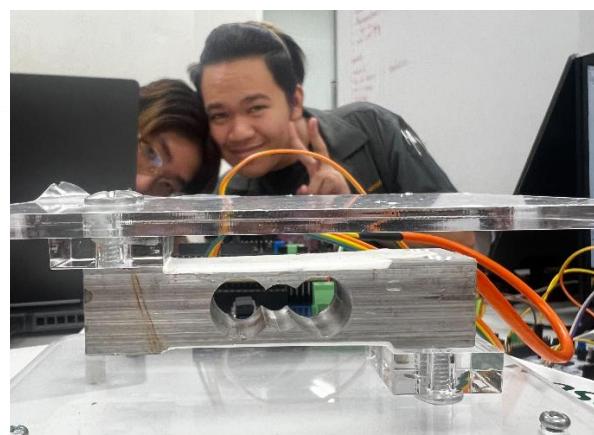
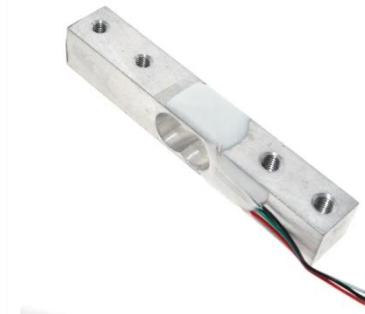


ຮູບແສດງ Operational Amplifier (Op-Amp) ຈົນດ INA125P

ປະເທດ: PDIP (Plastic Dual In-line Package)

- ແຮງດັນໄຟຟ້າທີ່ຈ່າຍ: $\pm 15V$
- ໜ່ວງອຸນຫກມີ: $-40^{\circ}C$ ຊື່ $+85^{\circ}C$
- ອັຕຣາຂຍາຍ: 4 ຊື່ 10000
- Frequency Response: 0.9 kHz (for G = 500)
- Package Type: 16-Pin Plastic DIP
- Datasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/847622/TI1/INA125.html>

4.6.9.2 YZC-131A



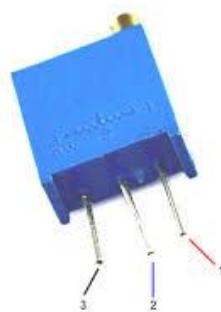
ຮູບແສດງ Single Point Load Cell (Op-Amp) ຈົນດ YZC-131A

ປະເທດ: Strain Gauge

- ນໍ້າຫນັກທີ່ຮັບ: 10 kg
- ໜ່ວງອຸນຫກມີ: $-21^{\circ}C$ ຊື່ $+40^{\circ}C$
- ວັດຖຸ: Aluminum Alloy

- กว้าง: 12.7 mm
- ยาว: 75 mm
- Load Cell Type: Strain Gauge
- Datasheet: <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/YZC-131A.pdf>

4.6.9.3 Trimpot 100K 25 Turns



รูปแสดง Trimming Potentiometer ชนิด 104

- ค่าความต้านทานสูงสุด: $100 \pm 10\% \text{ k}\Omega$
- ช่วงอุณหภูมิ: -55°C ถึง $+125^\circ\text{C}$
- รอบการหมุน: 25 รอบ
- Datasheet: <https://www.bourns.com/pdfs/3296.pdf>

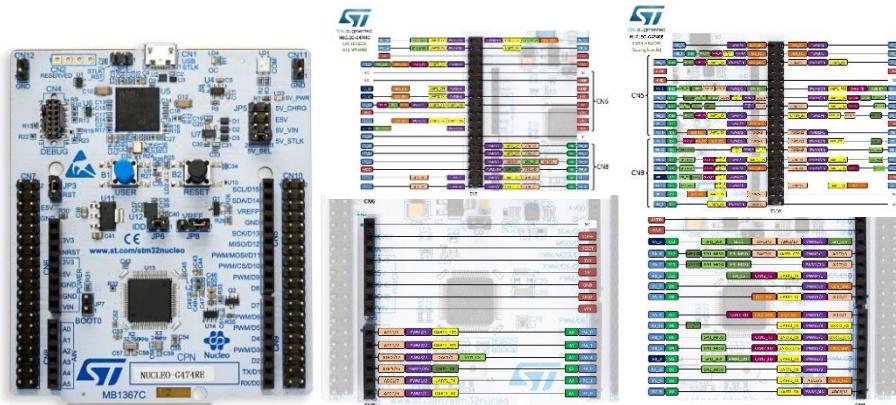
4.6.9.4 Resistor 4.7k Ω



รูปแสดง Resistor 4.7k Ω ชนิด 1/4W

- ค่าความต้านทาน: $4.7 \text{ k}\Omega$
- ช่วงอุณหภูมิ: -55°C ถึง $+155^\circ\text{C}$
- ค่าความต้านทานคลาดเคลื่อน: $\pm 5\%$
- Datasheet: <https://www.farnell.com/datasheets/1807347.pdf>

4.6.9.5 Nucleo STM32G474R



รูปแสดง Nucleo STM32G474RE

<https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จากตระกูล STM32 ซึ่งใช้ชิป ARM Cortex-M4 ที่มีความเร็ว สูงสุด 170 MHz หน่วยความจำ Flash ขนาด 512 KB และ RAM ขนาด 128 KB บอร์ดนี้ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีตัวเชื่อมต่อแบบ Arduino และ ST Zio ที่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังมี ST-LINK/V2-1 ในตัว ทำให้สามารถโปรแกรมและดีบักได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม รองรับการเขียนโปรแกรมผ่าน STM32CubeIDE เหมาะสำหรับการทำโปรเจกต์ที่ต้องการความแม่นยำ

4.7 วิธีดำเนินการทดลอง

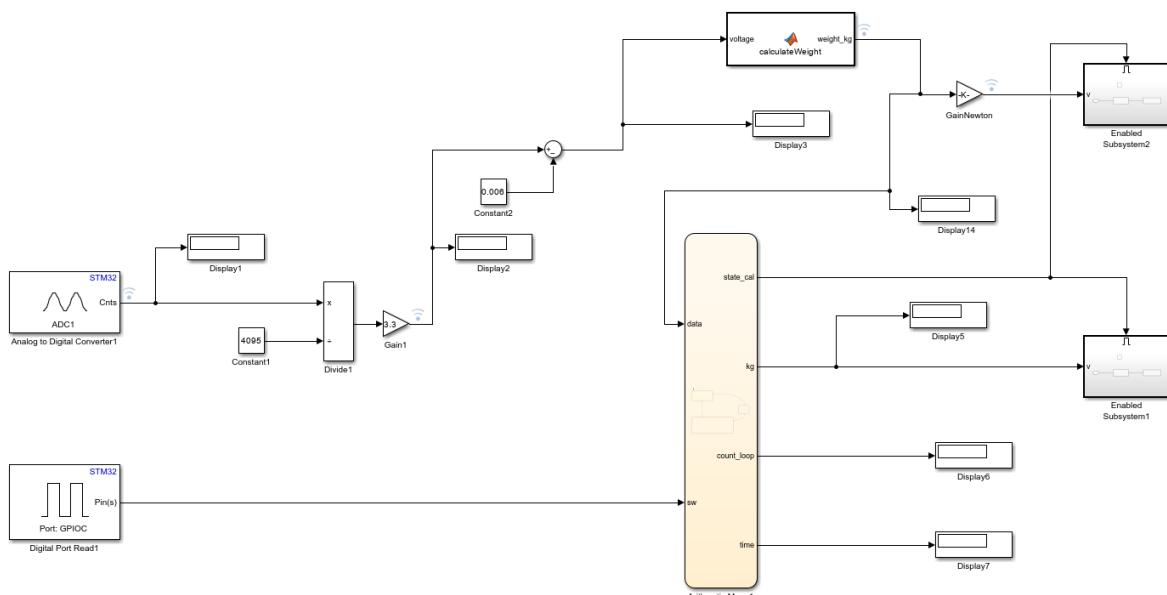
ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน โดยเริ่มต้นการทดลองจากการกำหนดค่า Gain ภายในวงจรเพื่อย้ายสัญญาณ Output จาก Load Cell โดยค่า Gain ถูกกำหนดจากอัตราส่วนระหว่างค่า แรงดันอ้างอิง v_{ref} ที่จ่ายให้กับวงจร Load Cell และแรงดัน Output ที่ได้จาก Load Cell เมื่อมีการถ่วงมวล 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับ การตั้งค่า Gain ทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานของ Single External Resistor ที่เชื่อมต่อกับ Amplifier และได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมวล ที่กระทำต่อ Load Cell กับสัญญาณแรงดัน Output ที่อ่านได้จาก Load Cell ทั้งก่อนและหลังการขยายสัญญาณ ด้วย INA125 Instrumentation Amplifier โดยการเพิ่มและลดมวลที่กระทำต่อ Load Cell และบันทึกค่าแรงดัน Output ที่อ่านได้เป็นจำนวน 1,000 ค่าในแต่ละการเปลี่ยนแปลงของมวลเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและเพิ่มความแม่นยำ ของข้อมูลที่ได้ จากนั้นจึงนำค่าแรงดันที่วัดได้มาแปลงเป็นค่าของมวล โดยเปรียบเทียบกับค่ามวลจริงที่ใช้ในการทดลอง และเพื่อให้การวัดแรงดันสอดคล้องกับสภาวะที่ไม่มีการถ่วงมวล คณะผู้จัดทำได้ปรับค่า offset ของแรงดัน Output ให้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีมวลกระทำ เพื่อสอดคล้องกับค่าที่ควรเป็นในสภาวะสมดุล ในขั้นต่อมา ได้นำค่า แรงดัน Output ที่ได้มาก่อนการแปลงค่าเป็นมวล มา plot กราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม และทำการปรับสมการที่ใช้ ในการแปลงแรงดันในช่วงของค่าแรงดันไม่เป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ให้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในคุณลักษณะ ของ Load Cell จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันและมวลที่กระทำ สุดท้ายคณะผู้จัดทำได้ตรวจสอบความถูกต้องของการตั้งค่า Gain, offset และสมการแปลง ก่อนที่จะนำค่าที่ได้ไปแสดงผลในรูปแบบของมวลในหน่วย SI

แบบ Real-Time โดยใช้ MATLAB และ Simulink ควบคู่กับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ค่ามวลที่คำนวณได้จากสัญญาณ Output

4.8 วัสดุอุปกรณ์

- Single Point Load Cell YZC-131A จำนวน 1 อัน
- INA125 Instrumentation Amplifier จำนวน 1 อัน
- Trimpot 100 K 25 Turns จำนวน 1 อัน
- Resistor 4.7K Ohm จำนวน 1 อัน
- Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- LoadCellXplorer จำนวน 1 ชุด
- Jumper Wire Cable จำนวน 1 ชุด

4.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน



4.9.1 กำหนดค่า Gain ภายในวงจรเพื่อขยายสัญญาณ Output จาก Load Cell

ค่า Gain ถูกกำหนดจากอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันอ้างอิง v_{ref} ที่จ่ายให้กับวงจร Load Cell ซึ่งมีค่า 2.5 โวลต์ โดยตรวจสอบด้วยการตั้งค่า Gain ในระดับต่ำ และวางแผนถ่วงเพื่อทดสอบแรงดัน Output ซึ่งจากการวัดพบว่า v_{ref} มีค่า 2.5 โวลต์ และแรงดัน Output ที่วัดจาก Load Cell เมื่อถ่วงด้วยมวล 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับนั้น มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิโวลต์ เมื่อวัดด้วยมัลติมิเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าทั้งสองนี้มาคำนวณค่า Gain ตามสูตร

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

$$G = \frac{2.5 \text{ v}}{0.004 \text{ v}}$$

$$G = 625$$

G คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณ

V_{OUT} คือ แรงดัน Output ที่ได้จากการขยายสัญญาณ โดยมีค่าเป็น 2.5 v

V_{IN} คือ แรงดัน Input ที่ป้อนเข้าสู่ Amplifier โดยมีค่าเป็น 4 mv หรือ 0.004 v

จากการคำนวณตามสมการ จะเห็นว่าค่า Gain คือ 625 เท่า

4.9.2 ปรับค่า Gain ภายในวงจรเพื่อขยายสัญญาณ Output จาก Load Cell ตามที่กำหนดค่าได้

ค่า Gain สามารถปรับได้โดยการปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานภายนอก (Single External Resistor) ที่เชื่อมต่อกับตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) โดยสามารถคำนวณค่าความต้านทานที่เหมาะสม สำหรับค่า Gain ที่ต้องการได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

$$625 = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

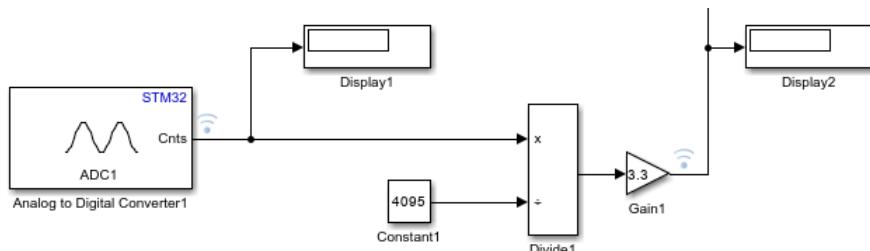
$$R_G \approx 97 \Omega$$

G คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณ โดยมีค่าเป็น 625

R_G คือ ค่าความต้านทานที่เชื่อมต่อกับตัวขยายสัญญาณ

จากการคำนวณตามสมการ พบว่าค่า R_G มีค่าอยู่ที่ประมาณ 97Ω ดังนั้น ควรผู้จัดทำจึงได้ปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานภายนอก (Single External Resistor) ที่เชื่อมต่อกับตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ให้เป็นค่าดังกล่าว

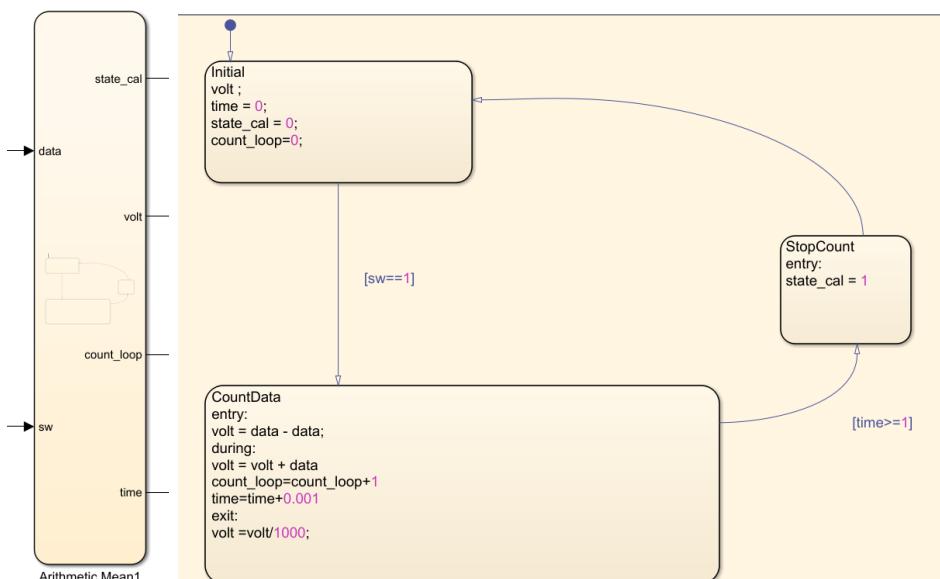
4.9.3 การแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปแสดง ภาพรวมของการทำงานในการแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

- การรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ผ่านการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วงบัน Load Cell โดยใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกจากมวลที่ถ่วงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านและประมวลผลได้ ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) โดยใช้บล็อก “Display1” แสดงค่าที่อ่านได้ ณ ขณะนั้น
- การแปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่อ่านได้มาหารด้วย 4095 และคูณด้วย 3.3 โดยใช้บล็อก “Constant1” สำหรับกำหนดค่าคงที่เป็น 4095, บล็อก “Divide1” สำหรับหารค่าดิจิทัลด้วย 4095 และบล็อก “Gain1” สำหรับคูณค่าที่ได้ด้วย 3.3 เพื่อแปลงค่าในช่วง 0-4095 ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt)
- โดยใช้บล็อก “Display2” แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell ในหน่วยโวลต์

4.9.4 การนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์



รูปแสดง ภาพรวมของจรวจการทำงานในการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ไปวิเคราะห์

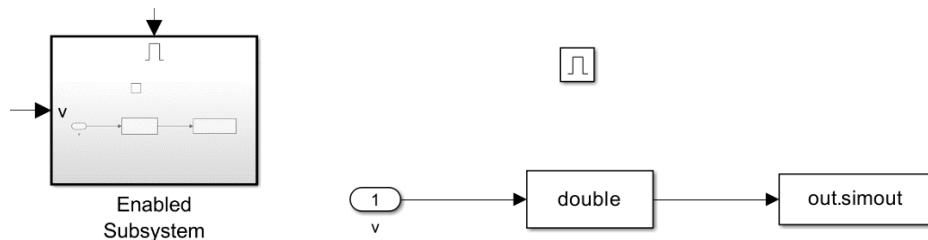
การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วง Load Cell โดยการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 1,000 ค่าในแต่ละตำแหน่ง เนื่องจากผลการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ตำแหน่งเดิมซ้ำหลายครั้งมีค่าที่อ่านได้แสดงถึงความแกว่งของข้อมูล จึงจำเป็นต้องนำค่าแรงดันจำนวนที่ตำแหน่งเดิม 1,000 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความคงที่มากยิ่งขึ้น

ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ได้มีการทดสอบการเก็บค่าของแรงดันจำนวน ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 1,200 ค่า ซึ่งพบว่า 1,000 ค่าดังกล่าวมีความเสถียรและคงที่ที่สุดสำหรับการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วง Load Cell นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการนำค่าแรงดันจำนวน 1,000 ค่าในแต่ละค่าการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วง Load Cell ไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic

Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จาก การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตมีความเสถียรและคงที่มากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึง เลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า

โดยในบล็อกชาร์ต (chart) “Arithmetic Mean” จะมีการรับค่าของตัวแปร Input ซึ่งประกอบด้วย “data” ที่แทนค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ ซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วง Load Cell และ “rw” ซึ่งเป็นค่าที่รับมาจากบล็อก “Digital Port Read” โดยมีหน้าที่ในการตรวจสอบสถานะของ ปุ่มกดบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE เมื่อมีการกดปุ่ม Digital Port Read จะส่งค่าเป็น HIGH หรือ 1 ไปยังชาร์ต “Arithmetic Mean” ซึ่งจะเริ่มต้นกระบวนการเก็บค่าของแรงดันจำนวน 1,000 ค่าในตำแหน่ง นั้นๆ ในระหว่างการวนลูป (Loop) เมื่อทำการวนลูปครบแล้ว จะมีการนำค่าที่เก็บมาหารด้วย 1,000 เพื่อหา ค่าเฉลี่ยของแรงดัน ณ ตำแหน่งนั้น หลังจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยเสร็จสิ้น จะมีตัวแปร Output คือ “state_cal” สำหรับบ่งบอกสถานะ โดยถ้าการคำนวณเสร็จสิ้น จะกำหนดให้ state_cal = 1, “count_loop” จะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งที่ทำการวนลูป, “time” จะแสดงระยะเวลาในการทำงานของ ระบบ และ “kg” จะแสดงค่าแรงดันเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า

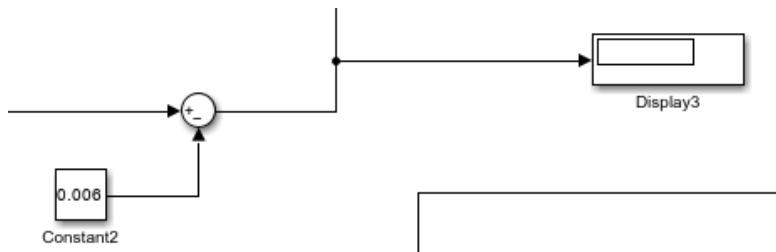
4.9.5 นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace เพื่อนำไป Plot กราฟ สำหรับการหา ค่าแรงดันแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลสำหรับถ่วง Load Cell



รูปแสดง นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace

ใช้บล็อก 'Enable Subsystem' โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าตัวเลขที่ผ่านกระบวนการหาค่าเฉลี่ย เรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ใช้ในการกระตุ้น (Trigger) มาจากสัญญาณ state_cal ภายในบล็อกจะมีการแปลง ข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นชนิดข้อมูลแบบ double ก่อนที่จะส่งออกไปยัง Workspace ผ่านบล็อก 'To Workspace' โดยตั้งค่าให้จัดเก็บในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ หลังจากส่งออกข้อมูลแล้ว คณะผู้จัดทำได้นำค่าที่ ได้ทั้งหมดมา Plot เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell จากนั้นนำค่า แรงดันที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับมวลต่างที่เปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อไม่มีมวลต่าง วงจรการทำงานสามารถอ่าน ค่าแรงดันที่ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ปรับค่า Offset ของแรงดัน Output ให้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มี มวลกระทำ เพื่อให้สอดคล้องกับค่าที่ควรเป็นในสภาวะสมดุล

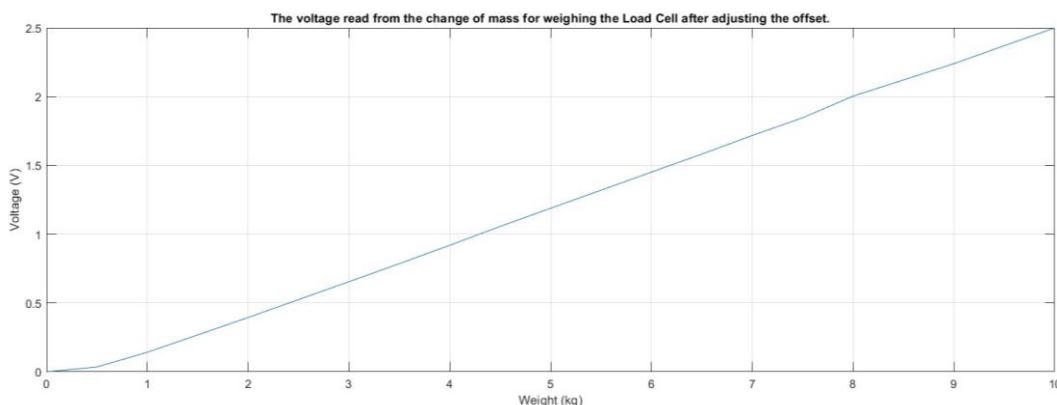
4.9.6 ปรับค่า offset ของแรงดัน Output ให้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีมวลกระทำ



รูปแสดง ปรับค่า offset ของแรงดัน Output ให้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีมวลกระทำ

จากการทดสอบการเก็บค่าแรงดันที่อ่านได้เมื่อไม่มีมวลกระทำ พบร่วมค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 0.006 โวลต์ ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงทำการปรับค่า Offset โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell มาลบด้วย 0.006 โวลต์ โดยใช้บล็อก “Constant2” เพื่อกำหนดค่าคงที่เป็น 0.006 และใช้บล็อก “Sum” ในการลบค่า จากนั้นใช้บล็อก “Display3” เพื่อแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้หลังจากการปรับ Offset

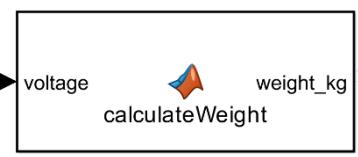
ในขั้นตอนถัดมา คณะผู้จัดทำได้นำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset มา Plot กราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม พบร่วมกราฟของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell มีแนวโน้มตามรูป



รูปแสดง จากราฟของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านมาปรับ offset เทียบกับการเปลี่ยนแปลงมวลถ่วง Load Cell

จากราฟจะเห็นว่าในช่วงมวลถ่วง 0 – 1 กิโลกรัม ลักษณะของกราฟไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงเลือกข้อมูลแรงดันไฟฟ้าในช่วงมวลถ่วง 0 – 1 กิโลกรัม มา Plot กราฟและหาสมการเพื่อใช้ในการแปลงแรงดันในช่วงค่าดังกล่าวให้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในคุณลักษณะของ Load Cell จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันและมวลที่กระทำ

4.9.7 ปรับสมการที่ใช้ในการแปลงแรงดันในช่วงที่ค่าแรงดันไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นให้มีความแม่นยำมากขึ้น



```

1 function weight_kg = calculateWeight(voltage)
2 % ตรวจสอบว่า voltage อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.142 伏ต์หรือไม่
3 if voltage <= 0.142 && voltage >= 0
4     % คำนงที่จากสมการกำลังสอง
5     a = 0.1413;
6     b = 0.0027;
7     c = - (voltage + 0.0004); % ปัจจัย c โดยรวมค่า voltage เน้าไป
8
9     % คำนวณค่า discriminant ( $b^2 - 4ac$ ) เพื่อหารากจริงหรือไม่
10    discriminant = b^2 - 4 * a * c;
11
12    % ตรวจสอบว่า discriminant ไม่เป็นศูนย์ (มีรากจริง)
13    if discriminant >= 0
14        % คำนวณรากที่สองจากสมการกำลังสอง
15        root1 = (-b + sqrt(discriminant)) / (2 * a);
16        root2 = (-b - sqrt(discriminant)) / (2 * a);
17
18        % เลือกใช้รากที่เป็นบวกหรือศูนย์เพื่อให้มีความหมายในเชิงน้ำหนัก
19        if root1 >= 0
20            weight_kg = root1;
21        elseif root2 >= 0
22            weight_kg = root2;
23        else
24            weight_kg = 0; % หากทั้งสองรากติดลบ กำหนดค่า weight เป็น 0
25        end
26    else
27        % ถ้าไม่มีรากจริง ( $discriminant < 0$ ) กำหนดค่า weight เป็น 0
28        weight_kg = 0;
29    end
30
31    elseif voltage <= 0
32        weight_kg = 0;
33    else
34        % หาก voltage อยู่นอกช่วงที่กำหนด ใช้สมการเส้นตรงแทน
35        weight_kg = (voltage + 0.1313) / 0.264;
36    end
37 end

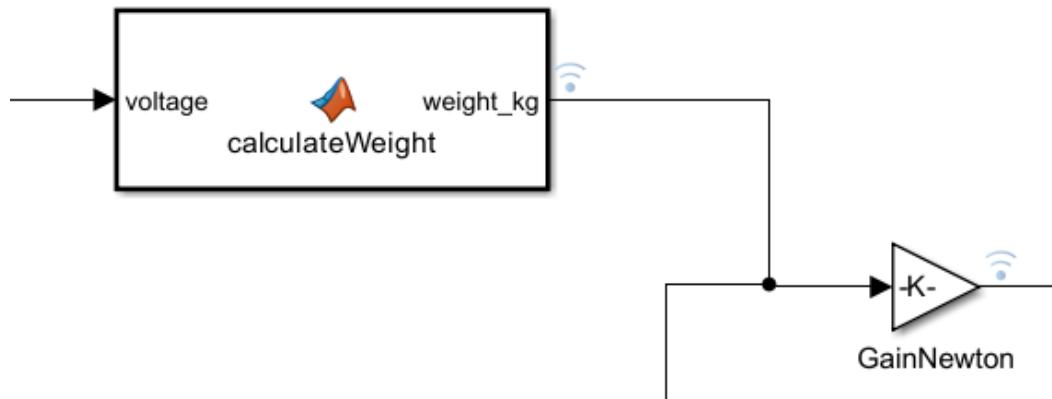
```

รูปแสดง ปรับสมการที่ใช้ในการแปลงแรงดันในช่วงของค่าแรงดันไม่เป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

การปรับสมการที่ใช้ในการแปลงแรงดันในช่วงที่ค่าแรงดันไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นให้มีความแม่นยำมากขึ้น ทำได้โดยการใช้ข้อมูลในช่วงดังกล่าวเพื่อหาสมการในรูปแบบของ Polynomial, Linear และ Linearization จากนั้นทำการเบรียบเทียบค่าทั้งสามสมการ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสมการ Polynomial ที่ได้มีความสามารถในการแปลงแรงดันในช่วงที่ไม่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สงผลให้เกิดความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจนระหว่างแรงดันและมวลที่กระทำ

คณะกรรมการได้ใช้ล็อก “MATLAB function” ในการเขียนโค้ดเพื่อนำค่าแรงดันที่อ่านได้ในช่วงดังกล่าวไปแปลงเป็นน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัม โดยคำนวณผ่านสมการ Polynomial สำหรับช่วงมวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม โดยยังคงใช้สมการเชิงเส้นในการคำนวณ เป็นองค์ในช่วงนี้ค่าแรงดันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน

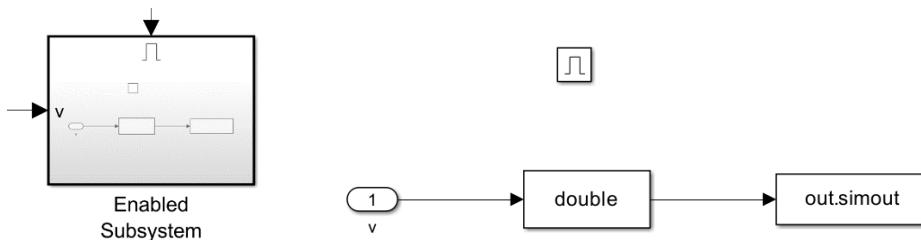
4.9.8 นำค่าน้ำหนักที่คำนวณจากการมาปรับอัตราเป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived โดยแปลงเป็นหน่วยนิวตัน



รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการปรับอัตราส่วนน้ำหนักในหน่วย SI derived

เนื่องจากค่าน้ำหนักที่คำนวณจากการมีหน่วยเป็นกิโลกรัม คณะผู้จัดทำจึงได้นำค่าดังกล่าวมาคูณด้วยค่า 9.81 เพื่อแปลงเป็นน้ำหนักในหน่วยนิวตัน ซึ่งจะใช้สำหรับการเปรียบเทียบค่าของมวลที่ถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้บล็อก “Gain” ในการคูณค่าที่ได้ด้วย 9.81

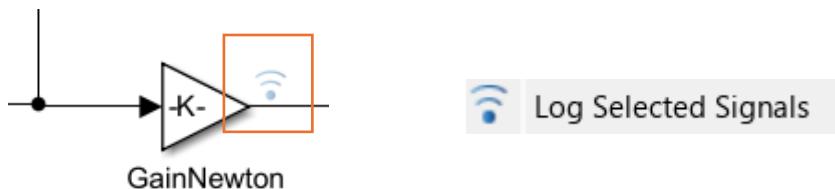
4.9.9 นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace เพื่อใช้ในการ Plot กราฟและบันทึกค่า



รูปแสดง นำข้อมูลออกจาก Simulink ไปยัง MATLAB Workspace

ใช้บล็อก 'Enable Subsystem' โดยกำหนดให้อินพุตเป็นค่าตัวเลขที่ผ่านกระบวนการหาค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ใช้ในการกระตุ้น (Trigger) มาจากสัญญาณ state_cal ภายใต้บล็อกจะมีการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นชนิดข้อมูลแบบ double ก่อนที่จะส่งออกไปยัง Workspace ผ่านบล็อก 'To Workspace' โดยตั้งค่าให้จัดเก็บในรูปแบบอาร์เรย์ 2 มิติ หลังจากส่งออกข้อมูลแล้ว คณะผู้จัดทำจะนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาบันทึกข้อมูล

4.9.10 ปรับแต่งสัญญาณ Input แบบ Real-Time โดยมี Output เป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived



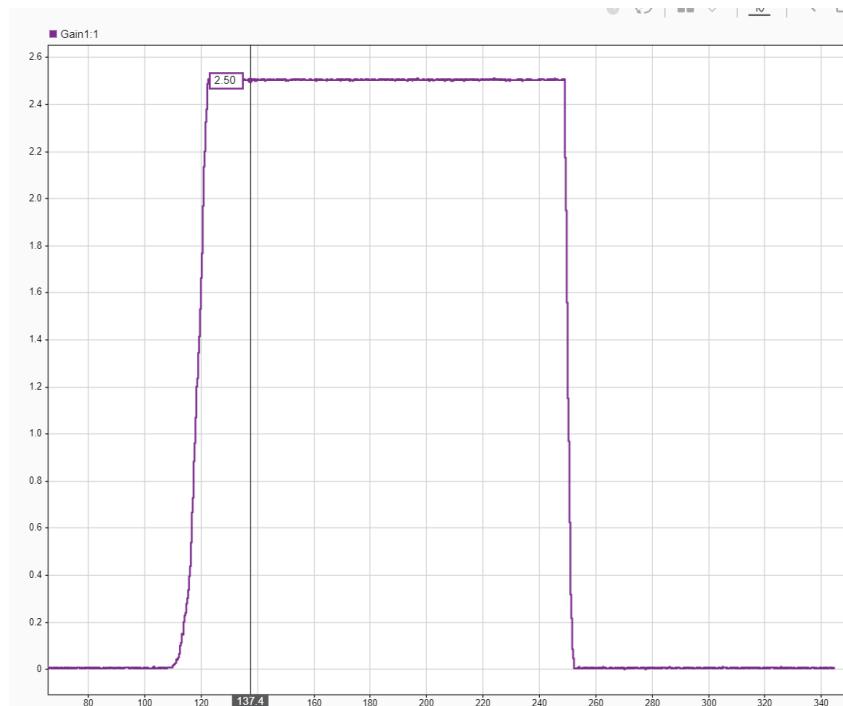
รูปแสดง ภาพรวมของวงจรการแปลงสัญญาณ Input เป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived แบบ Real-Time

ຄณาหູ້ຈັດທໍາໄດ້ເລືອກໃຊ້ການ “Log Selected Signals” ເພື່ອສັງເກດກາຮປະລິຍັນແປ່ງຂອງສัญญาณ Input ທີ່ຈະມີຄວາມຕໍ່ວາງບນ Load Cell ໂດຍມາລັດັກລ່າວຈະສົງຜລໃຫ້ເກີດກາຮປະລິຍັນແປ່ງຂອງສัญญาณ Output ແບບ Real-Time ສัญญาณ Output ທີ່ໄດ້ຈະເປັນນ້ຳໜັກໃນหน่วย SI derived ທີ່ຈະເປັນຄ່າທີ່ອ່ານໄດ້ຈາກ Load Cell ລັ້ງຈາກກາງຂໍາຍາຍສัญญาณດ້ວຍ INA125 Instrumentation Amplifier

4.10 ผลการทดลอง

4.10.1 การหาค่า Gain โดยการหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ที่จ่ายให้กับวงจร Load Cell และแรงดัน Output ที่ได้จาก Load Cell เมื่อมีการถ่วงมวล 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A

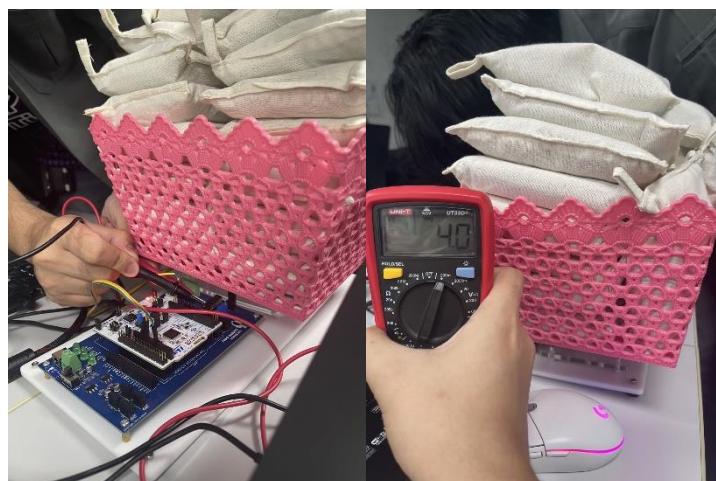
4.10.1.1 หาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ที่จ่ายให้กับวงจร Load Cell โดยตรวจสอบด้วยการตั้งค่า Gain ในระดับต่ำ และวางแผนถ่วงเพื่อทดสอบแรงดัน Output ซึ่งจากการวัดพบว่า V_{ref} มีค่า 2.5 โวลต์ ดังรูป



รูปแสดง หาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ที่จ่ายให้กับวงจร Load Cell

4.10.1.2 หาแรงดัน Output ที่ได้จาก Load Cell เมื่อมีการถ่วงมวล 10

ค่าแรงดัน Output ที่วัดจาก Load Cell เมื่อถ่วงด้วยมวล 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับนั้นมีค่าเท่ากับ 4 มิลลิโวลต์ เมื่อวัดด้วยมัลติมิเตอร์



รูปแสดง การวัดค่าแรงดัน Output ที่วัดจาก Load Cell เมื่อวัดด้วยมัลติมิเตอร์

จากนั้นคณะผู้จัดทำได้นำค่าทั้งสองนี้มาคำนวณค่า Gain ตามสูตร โดยพบว่าค่า Gain ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 625 เท่า นอกจากนี้ยังได้คำนวณหาค่า R_G ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 97Ω ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานภายนอก (Single External Resistor) ที่เชื่อมต่อ กับตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ให้เป็นค่าดังกล่าว

4.10.2 การทดลองเพื่อนำค่าของแรงดันที่อ่านได้มาวิเคราะห์

หลังจากที่ได้แปลงค่าดิจิทัลขนาด 12-bit (0-4095) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-3.3 โวลต์ (volt) แล้ว คณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบเพื่อเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการนำมวลขนาด 1 กิโลกรัมถ่วงบน Load Cell โดยทำการบันทึกจำนวน 10 ค่าตามที่แสดงดังตาราง

ครั้งที่เก็บผล การทดลอง	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์)
1	0.149
2	0.151
3	0.148
4	0.148
5	0.156
6	0.152
7	0.151
8	0.147
9	0.149
10	0.141

จากการทดลองดังกล่าว พบร่วมกับค่าที่อ่านได้มีความแปรปรวนของข้อมูล โดยมีค่าการกระจายตัว (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.0039 ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเฉลี่ย เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตำแหน่งเดิมมีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

4.10.3 การทดลองเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเฉลี่ย เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดิมให้มีความเสถียรและคงที่มากที่สุด

ในการทดลองดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าจำนวนข้อมูลในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 1,200 ค่า โดยเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการนำมวลขนาด 1 กิโลกรัมถ่วงบน Load Cell และทำการบันทึกจำนวน 10 ค่าตามที่แสดงดังตาราง

จำนวนของข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ย	ค่าแรงดันที่วัดได้ (หน่วย โวลต์) จำนวน 10 ค่า									
no avg	0.149	0.151	0.148	0.148	0.156	0.152	0.151	0.147	0.149	0.141
avg 10	0.15	0.151	0.152	0.152	0.15	0.151	0.151	0.151	0.152	0.151
avg100	0.152	0.151	0.151	0.152	0.15	0.151	0.151	0.153	0.151	0.153
avg 300	0.151	0.152	0.151	0.15	0.151	0.15	0.151	0.151	0.151	0.152
avg 500	0.15	0.152	0.15	0.15	0.151	0.151	0.151	0.15	0.151	0.151
avg 700	0.151	0.15	0.151	0.15	0.151	0.151	0.15	0.151	0.151	0.151
avg 900	0.15	0.15	0.15	0.151	0.15	0.15	0.15	0.151	0.15	0.15
avg 1000	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
avg 1100	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
avg 1200	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

จากการทดลองดังกล่าว พบว่าช่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 1 ถึง 900 ค่า มีความแปรปรวนของข้อมูลเกิดขึ้น อย่างรุนแรงตาม เมื่อทำการทดลองในช่วงจำนวนข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยตั้งแต่ 1,000 ถึง 1,200 ค่า พบว่ามีความเสถียรและคงที่ของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้น คณะกรรมการจัดทำจึงตัดสินใจเลือกเก็บค่าของแรงดันจำนวน 1,000 ค่าในตำแหน่งนั้น ๆ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

4.10.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) เพื่อประเมินความเสถียรของข้อมูล

ในการทดลองดังกล่าว คณะกรรมการจัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการนำมวลขนาด 1 กิโลกรัมถ่วงบน Load Cell และบันทึกค่าแรงดัน Output ที่อ่านได้เป็นจำนวน 1,000 ค่าตามที่แสดงในตาราง จากนั้นจึงได้นำค่าที่เก็บได้มารวบหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยกำลังสอง โดยมีข้อมูลดังตาราง

ครั้งที่เก็บผลการทดลอง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
1	0.150	0.150
2	0.150	0.149
3	0.150	0.149
4	0.150	0.150
5	0.150	0.149
6	0.150	0.149

ครั้งที่เก็บผลการทดลอง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
7	0.150	0.150
8	0.150	0.149
9	0.150	0.149
10	0.150	0.149

จากการทดลองดังกล่าว พบร้าเมื่อเก็บค่าข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า จากการนำมวลขนาด 1 กิโลกรัมถ่วงบน Load Cell และบันทึกค่า จากนั้นนำค่าที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตมีความเสถียรและคงที่มากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า

4.10.5 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงของมวลถ่วงบน Load Cell

ในการทดลองนี้ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า สำหรับแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell ซึ่งเพิ่มมวลถ่วงทุก ๆ 500 กรัม หรือ 0.5 กิโลกรัม โดยเริ่มจากมวลถ่วงที่ 0 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับได้

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell จะถูกนำมาคำนวณหา ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และแปลงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า โดยมีข้อมูลที่แสดงอยู่ดังตาราง

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้า หน่วย โวลต์
0.000	0.006
0.500	0.041
1.000	0.148
1.500	0.274
2.000	0.401
2.500	0.531
3.000	0.661
3.500	0.792
4.000	0.926

4.500	1.063
มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้า หน่วย โวลต์
5.000	1.195
5.500	1.326
6.000	1.458
6.500	1.589
7.000	1.724
7.500	1.853
8.000	2.010
8.500	2.128
9.000	2.246
9.500	2.377
10.000	2.506

จากการทดสอบการเก็บค่าแรงดันที่อ่านได้จะพบว่า เมื่อไม่มีมวลกระทำ พบร่วมมีค่าแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 0.006 โวลต์ ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงทำการปรับค่า Offset โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell มาลบด้วย 0.006 โวลต์ โดยใช้บล็อก “Constant2” เพื่อกำหนดค่าคงที่เป็น 0.006 และใช้บล็อก “Sum” ในการลบค่า โดยปรับ offset เพื่อเพื่อให้การวัดแรงดันสองคล้องกับสภาวะที่ไม่มีการถ่วงมวลในสภาวะสมดุลจากนั้นใช้บล็อก “Display3” เพื่อแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้หลังจากการปรับ Offset โดยค่าของแรงดันทางไฟฟ้าที่วัดได้หลังจากการปรับ Offset โดยมีข้อมูลดังตาราง

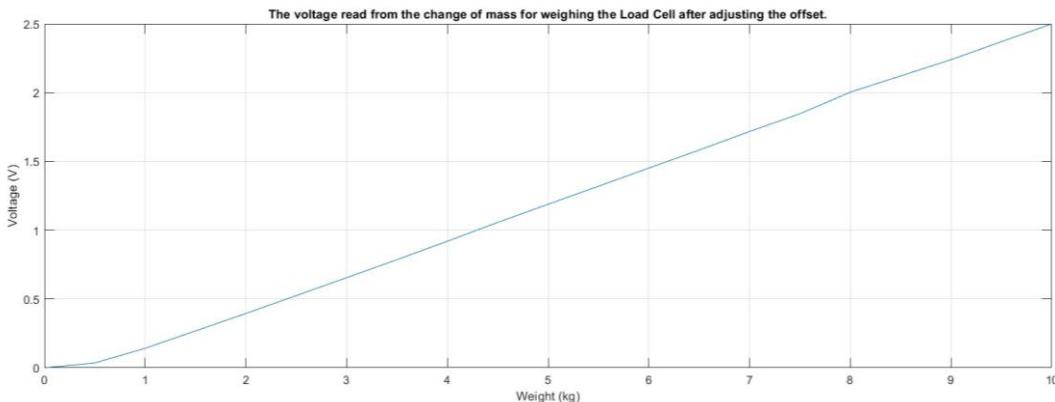
มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้าหลังจากการปรับ Offset หน่วย โวลต์
0.000	0.000
0.500	0.035
1.000	0.142
1.500	0.268
2.000	0.395
2.500	0.525

3.000	0.655
มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้าหลังจากปรับ offset หน่วย โวลต์
3.500	0.786
4.000	0.920
4.500	1.057
5.000	1.189
5.500	1.320
6.000	1.452
6.500	1.583
7.000	1.718
7.500	1.847
8.000	2.004
8.500	2.122
9.000	2.240
9.500	2.371
10.000	2.500

ในขั้นตอนถัดมา คณะผู้จัดทำได้นำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset มา Plot กราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม

4.10.6 การทดลองนำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset มา Plot กราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม

ในการทดลองดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 1,000 ค่าในแต่ละมวลที่ถ่วงบน Load Cell โดยเพิ่มมวลถ่วงทุก ๆ 500 กรัม หรือ 0.5 กิโลกรัม โดยเริ่มจากมวลถ่วง 0 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับได้หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell นำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าโดยนำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset กราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม โดยมีข้อมูลดังรูป



รูปแสดง จากราฟของแรงดันไฟฟ้าที่อ่านมาปรับ offset เทียบกับการเปลี่ยนแปลงมวลถ่วง Load Cell

จากราฟจะเห็นว่าในช่วงมวลถ่วง 0 – 1 กิโลกรัม ลักษณะของกราฟของแรงดันไฟฟ้าไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ส่วนในช่วงมวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม ลักษณะของกราฟของแรงดันไฟฟ้าแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงเลือกข้อมูลแรงดันไฟฟ้าในช่วงมวลถ่วง 0 – 1 กิโลกรัม มา Plot กราฟและหาสมการเพื่อใช้ในการแปลงแรงดันในช่วงค่าดังกล่าวให้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในคุณลักษณะของ Load Cell จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันและมวลที่กระทำ

4.10.7 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 0 – 1 กิโลกรัมไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น

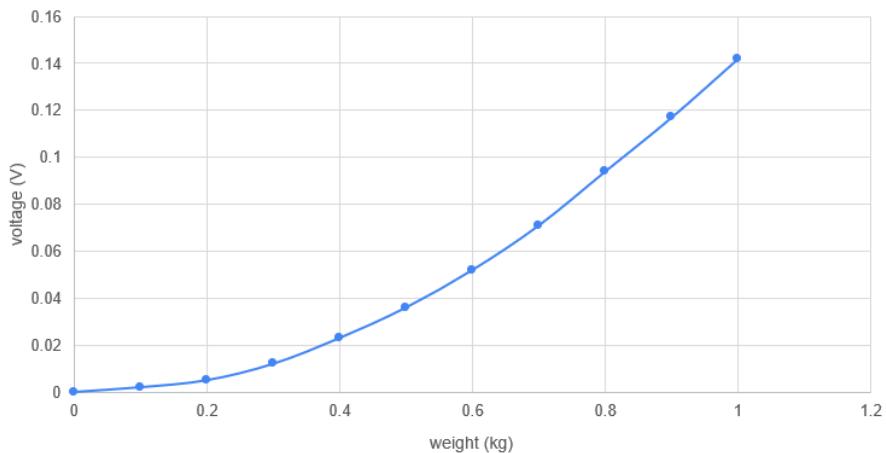
ในการทดลองดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า ในแต่ละมวลที่ถ่วงบน Load Cell โดยเพิ่มมวลถ่วงทุก ๆ 100 กรัม หรือ 0.1 กิโลกรัม โดยเริ่มจากมวลถ่วง 0 กิโลกรัม จนถึง 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับได้หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell นำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าโดยนำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset โดยมีข้อมูลดังตาราง

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้าหลังจากปรับ offset หน่วย โวลต์
0	0
0.1	0.002
0.2	0.005
0.3	0.012
0.4	0.023

0.5	0.036
มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้าหลังจากปรับ offset หน่วย โวลต์
0.6	0.052
0.7	0.071
0.8	0.094
0.9	0.117
1	0.142

นำข้อมูลไปเพื่อวิเคราะห์กราฟเพื่อดูแนวโน้มในช่วงดังกล่าว โดยมีข้อมูลดังรูป

Analyze the voltage values within the range of 0–1 kilogram load



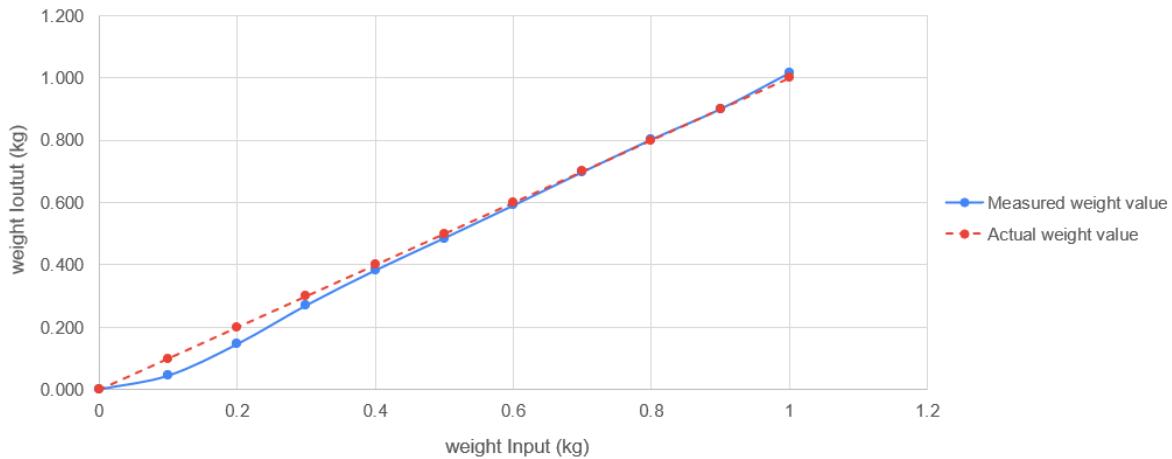
รูปแสดง ภาพกราฟของแรงดันเมื่อเทียบกับน้ำหนักในช่วง 0-1 กิโลกรัม

จากราฟที่แสดงจะเห็นได้ว่ากราฟแรงดันที่วัดได้จริงในช่วงมวลถ่วง 0 กิโลกรัม ถึง 1 กิโลกรัม มีลักษณะเป็น เส้นโค้ง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบโดยใช้ สมการ Polynomial, Linear และ Linearization โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ผ่านสมการ Polynomial ซึ่งมีสมการดังนี้:

$$y = 0.1413x^2 + 0.0027x - 0.0004$$

หลังจากนั้น คณะผู้จัดทำได้กำหนดช่วงมวลถ่วงตั้งแต่ 0 กิโลกรัม ถึง 1 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าแรงดันทางไฟฟ้าไม่เกิน 0.142 โวลต์ เพื่อใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้สมการ Polynomial ซึ่งแสดงผลการทดลองตามที่ปรากฏดังรูปภาพ

Analyze the voltage values within the range of a 0–1 kilogram load using a polynomial equation



รูปแสดง ภาพกราฟหลังจากทดลองผ่านสมการ Polynomial

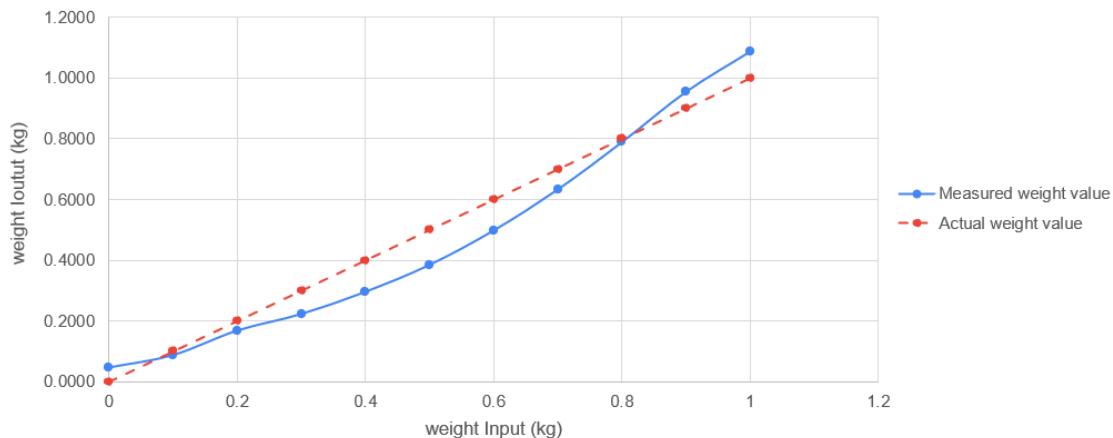
จากการทดลองวัดค่าแรงดันที่วัดได้จริงในช่วงมวลตั่ง 0 กิโลกรัม ถึง 1 กิโลกรัม และการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม จะพบว่าค่าของน้ำหนักมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell โดยกราฟสีฟ้าคือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในหน่วย กิโลกรัม และกราฟสีแดงคือค่าน้ำหนักจริงที่ถ่วงในหน่วย กิโลกรัม

หลังจากนี้ คณะผู้จัดทำจึงได้ลองใช้การวิเคราะห์ข้อมูลผ่านสมการ Linear เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของข้อมูล โดยมีสมการดังนี้:

$$y = 0.144x - 0.0216$$

จากนี้ คณะผู้จัดทำได้กำหนดช่วงมวลตั่งแต่ 0 กิโลกรัม จนถึง 1 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าแรงดันทางไฟฟ้าไม่เกิน 0.142 โวลต์ เพื่อใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้สมการ Linear ซึ่งแสดงผลการทดลองตามที่ปรากฏดังรูปภาพ

Analyze the voltage values within the range of a 0–1 kilogram load using a Linear equation



รูปแสดง ภาพกราฟหลังจากทดลองผ่านสมการ Linear

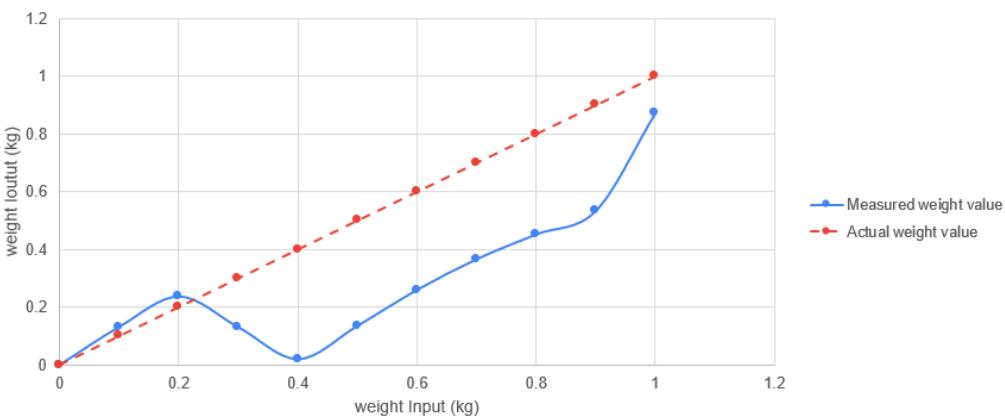
จากการทดลองวัดค่าแรงดันที่วัดได้จริงในช่วงมวลถ่วง 0 กิโลกรัม ถึง 1 กิโลกรัม และการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม พบร่วมค่าของน้ำหนักไม่มีความสอดคล้องและไม่ใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell โดยกราฟสีฟ้าคือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในหน่วย กิโลกรัม และกราฟสีแดงคือค่าน้ำหนักจริงที่ถ่วงในหน่วย กิโลกรัม

หลังจากนี้ คณะผู้จัดทำจึงได้ลองใช้การวิเคราะห์ข้อมูลผ่าน Linearization ในโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของข้อมูล โดยมีสมการดังนี้:

$$2.4949e+03 *(\sin(x-\pi))+ 125.5428*((x-10)^2)+ 1.2554e+04*(1)$$

จากนี้ คณะผู้จัดทำได้กำหนดช่วงมวลถ่วงตั้งแต่ 0 กิโลกรัม จนถึง 1 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าแรงดันทางไฟฟ้าไม่เกิน 0.142 โวลต์ เพื่อใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้สมการ Linearization ซึ่งแสดงผลการทดลองตามที่ปรากฏดังรูปภาพ

Analyze the voltage values within the range of a 0–1 kilogram load using Linearization in MATLAB software



รูปแสดง ภาพกราฟหลังจากทดลองผ่านสมการ Linearization

จากการทดลองวัดค่าแรงดันที่วัดได้จริงในช่วงมวลถ่วง 0 กิโลกรัม ถึง 1 กิโลกรัม และการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม พบว่าค่าของน้ำหนักไม่มีความสอดคล้องและไม่ใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell โดยกราฟสีฟ้าคือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในหน่วย กิโลกรัม และกราฟสีแดงคือค่าน้ำหนักจริงที่ถ่วงในหน่วย กิโลกรัม

หลังจากนั้น คณบัญชีจัดทำได้เปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลจากสมการ Polynomial, Linear และ Linearization โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านสมการ Polynomial ซึ่งมีสมการ:

$$y = 0.1413x^2 + 0.0027x - 0.0004$$

พบว่าค่าของน้ำหนักมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell ดังนั้น คณบัญชีจัดทำจึงได้กำหนดช่วงมวลถ่วงตั้งแต่ 0 กิโลกรัม จนถึง 1 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าแรงดันทางไฟฟ้าไม่เกิน 0.142 โวลต์ เพื่อใช้ในการคำนวณผ่านสมการ Polynomial

4.10.8 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม

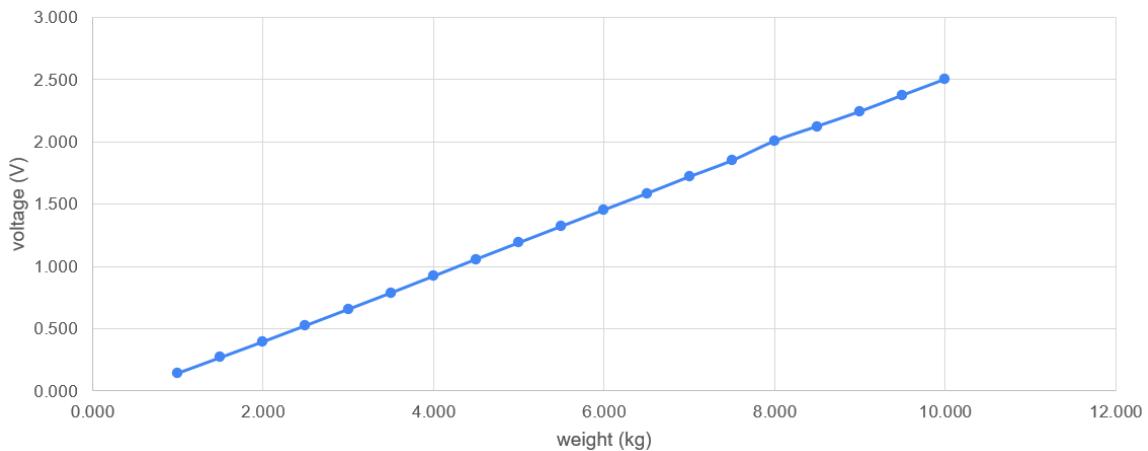
ในการทดลองดังกล่าว คณบัญชีจัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell โดยได้เก็บค่าข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า ในแต่ละมวลที่ถ่วงบน Load Cell โดยเพิ่มมวลถ่วงทุกๆ 500 กรัม หรือ 0.5 กิโลกรัม โดยเริ่มจากมวลถ่วง 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับได้

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell จะนำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset ซึ่งมีข้อมูลตามที่แสดงดังตาราง

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	แรงดันไฟฟ้าหลังจากปรับ offset หน่วย โวลต์
1.000	0.142
1.500	0.268
2.000	0.395
2.500	0.525
3.000	0.655
3.500	0.786
4.000	0.920
4.500	1.057
5.000	1.189
5.500	1.320
6.000	1.452
6.500	1.583
7.000	1.718
7.500	1.847
8.000	2.004
8.500	2.122
9.000	2.240
9.500	2.371
10.000	2.500

นำข้อมูลไปเพื่อวิเคราะห์กราฟเพื่อดูแนวโน้มในช่วงดังกล่าว โดยมีข้อมูลดังรูป

Analyze the voltage values within the range of 1 – 10 kilogram load



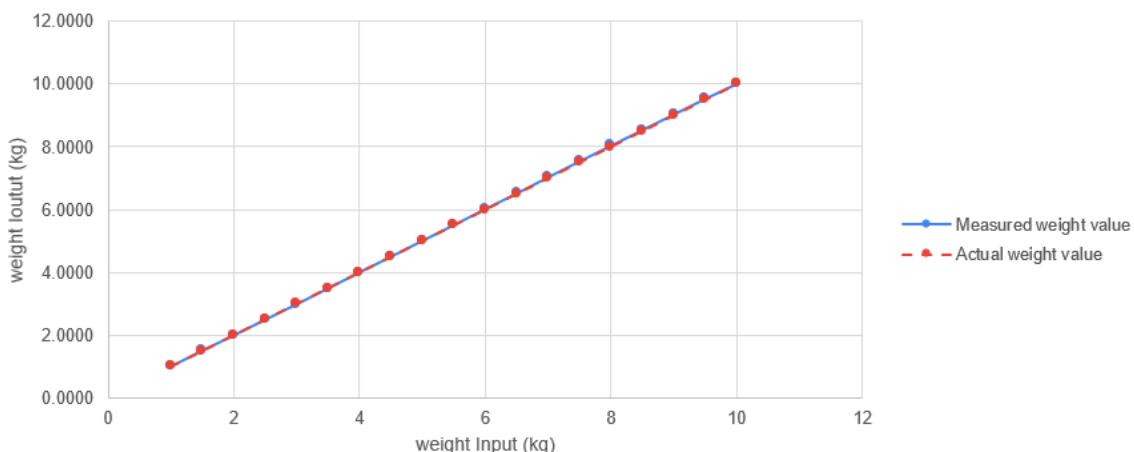
รูปแสดง ภาพกราฟการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม

จากราฟที่แสดง จะเห็นได้ว่ากราฟแรงดันที่รัดได้จริงในช่วงมวลถ่วง 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ลองใช้การวิเคราะห์ข้อมูลผ่านสมการ Linear โดยมีสมการ:

$$y = 0.264x - 0.131$$

หลังจากนั้น คณะผู้จัดทำได้กำหนดช่วงมวลถ่วงตั้งแต่ 0 กิโลกรัม จนถึง 1 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าของแรงดันทางไฟฟ้ามากกว่า 0.142 โวลต์ เพื่อใช้สมการตั้งกล่าวในการคำนวณการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้สมการ Linear ซึ่งแสดงผลการทดลองดังรูปภาพ

Analyze the voltage values within the range of a 1–10 kilogram load using a Linear equation



รูปแสดง ภาพกราฟการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม

จากการทดลองวัดค่าแรงดันที่วัดได้จริงในช่วงมวลถ่วง 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม และการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม พบว่าค่าของน้ำหนักมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell โดยกราฟสีฟ้าคือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในหน่วย กิโลกรัม และกราฟสีแดงคือค่าน้ำหนักจริงที่ถ่วงในหน่วย กิโลกรัม

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านสมการ Linear ซึ่งมีสมการ:

$$y = 0.264x - 0.131$$

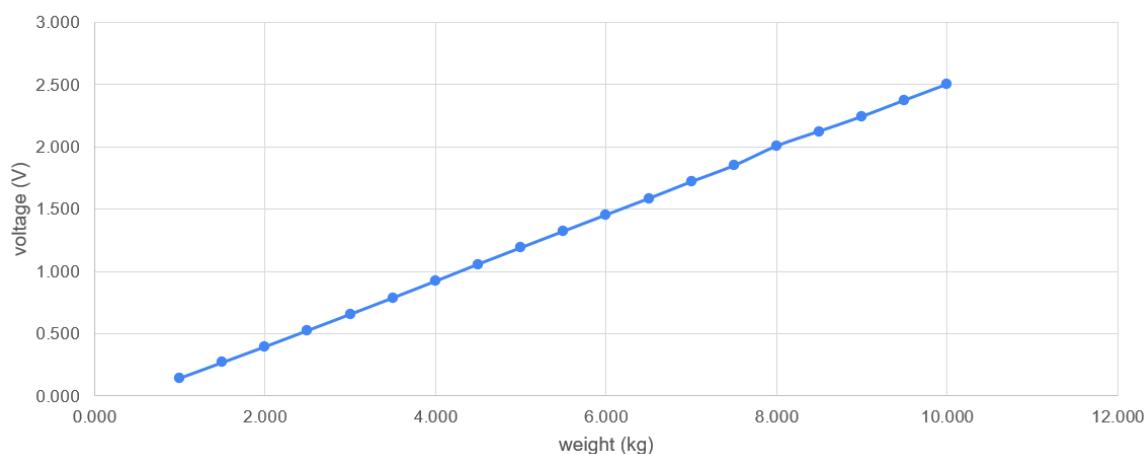
พบว่าค่าของน้ำหนักมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้กำหนดช่วงมวลถ่วงตั้งแต่ 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม หรือช่วงที่ค่าของแรงดันทางไฟฟ้ามากกว่า 0.142 โวลต์ เพื่อทำการคำนวณผ่านสมการ Linear

4.10.9 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 0 – 10 กิโลกรัมหลังจากการปรับสมการที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละช่วง

ในการทดลองดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงมวลบน Load Cell โดยได้ทำการเก็บค่าข้อมูลจำนวน 1,000 ค่า ในแต่ละมวลที่ถ่วงบน Load Cell โดยเพิ่มมวลถ่วงทุก ๆ 500 กรัม หรือ 0.5 กิโลกรัม โดยเริ่มจากมวลถ่วง 0 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่ามวลสูงสุดที่ Load Cell รุ่น YZC-131A รองรับได้

หลังจากนั้น ค่าที่เก็บได้ในแต่ละมวลที่ถ่วงลงบน Load Cell นำมาคำนวณหาเฉลี่ยเลขคณิต และทำการแปลงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าโดยนำค่าแรงดัน Output ที่ปรับค่า Offset และปรับสมการในการคำนวณโดยมีข้อมูลดังรูปภาพ

Analyze the voltage values within the range of 1 – 10 kilogram load



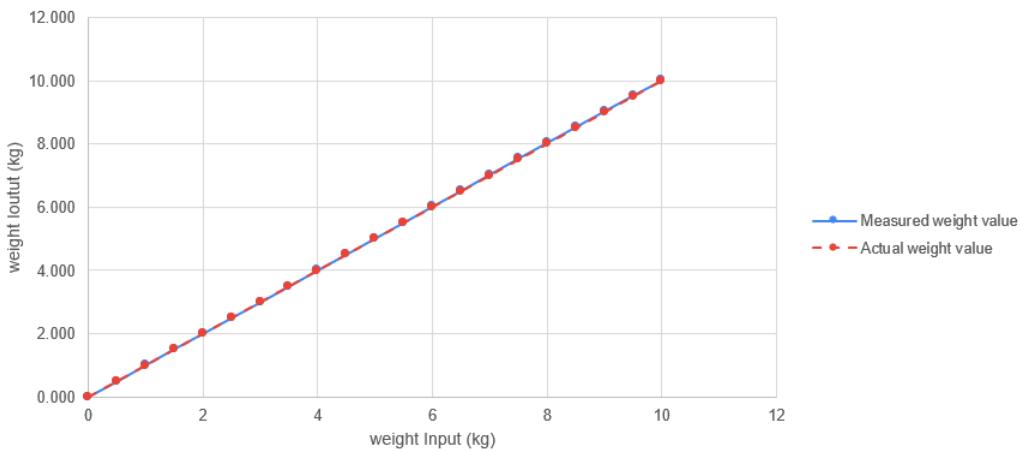
รูปแสดง ภาพกราฟการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม

หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาแปลงค่าให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัมโดยมีข้อมูลดังตาราง

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	ในหนักที่วัดได้ หน่วย กิโลกรัม
0.000	0.000
0.500	0.482
1.000	1.003
1.500	1.513
2.000	2.000
2.500	2.497
3.000	2.991
3.500	3.494
4.000	4.007
4.500	4.507
5.000	5.014
5.500	5.516
6.000	6.025
6.500	6.523
7.000	7.039
7.500	7.549
8.000	8.047
8.500	8.546
9.000	9.045
9.500	9.543
10.000	10.019

นำข้อมูลไปเพื่อวิเคราะห์กราฟเพื่อดูแนวโน้มในช่วงดังกล่าว โดยมีข้อมูลดังรูป

Analyze the voltage values within the range of a 1–10 kilogram load



รูปแสดง ภาพการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มวลถ่วง 1 – 10 กิโลกรัม

จากผลการทดสอบวัดค่าแรงดันที่วัดออกมากได้จริงในช่วงมวลถ่วง 0 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม และการแปลงค่าแรงดันให้เป็นน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม พบร่วมกันของน้ำหนักมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell โดยกราฟสีฟ้าคือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในหน่วย กิโลกรัม และกราฟสีแดงคือค่าน้ำหนักจริงที่ถ่วงในหน่วย กิโลกรัม

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์และปรับสมการมีค่าของน้ำหนักที่มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าของน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงได้ใช้สมการดังกล่าวในการทดสอบเพื่อเก็บค่าข้อมูลต่อไป

4.10.10 การทดสอบประเมินตามสัญญาณ Input แบบ Real-Time โดยมี Output เป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived

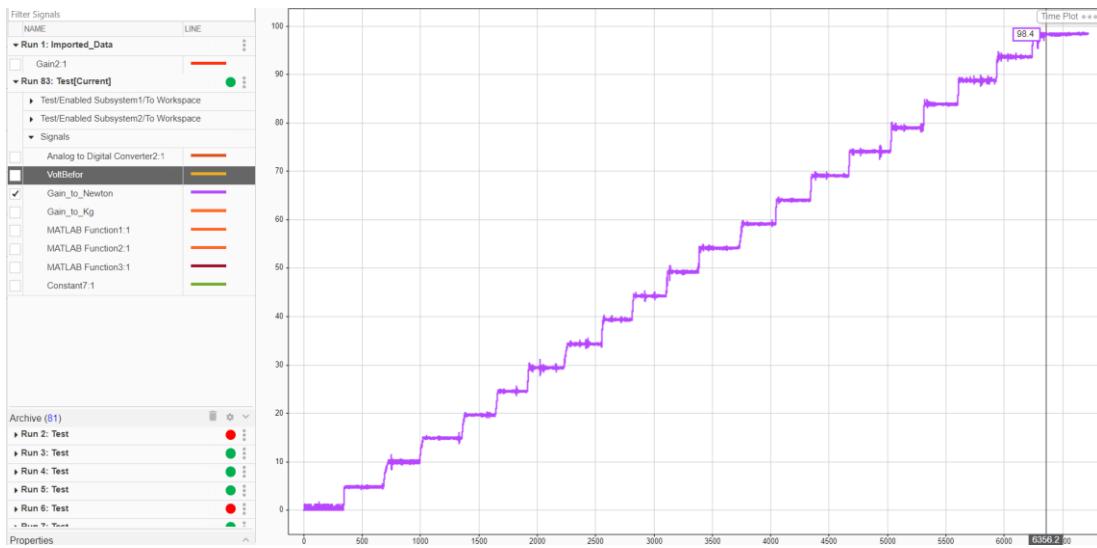
ในการทดสอบดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้การ “Log Selected Signals” เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Input ซึ่งก็คือมวลที่วางบน Load Cell โดยมวลดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output แบบ Real-Time

สัญญาณ Output ที่ได้จะเป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived ซึ่งเป็นค่าที่อ่านได้จาก Load Cell หลังจากการขยายสัญญาณด้วย INA125 Instrumentation Amplifier โดยได้ผลการทดสอบดังตาราง

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	ในหนักที่วัดได้ หน่วย กิโลกรัม
0.000	0	0.000
0.500	4.905	4.733
1.000	9.81	9.837
1.500	14.715	14.845

มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย กิโลกรัม	มวลสำหรับถ่วงลงบน Load Cell หน่วย นิวตัน	ในหนักที่รัดได้ หน่วย นิวตัน
2.000	19.62	19.617
2.500	24.525	24.499
3.000	29.43	29.341
3.500	34.335	34.279
4.000	39.24	39.313
4.500	44.145	44.215
5.000	49.05	49.190
5.500	53.955	54.115
6.000	58.86	59.106
6.500	63.765	63.991
7.000	68.67	69.056
7.500	73.575	74.056
8.000	78.48	78.938
8.500	83.385	83.840
9.000	88.29	88.736
9.500	93.195	93.613
10.000	98.1	98.290

จากนั้นทำการทดลองโดยใช้การ “Log Selected Signals” เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Input ซึ่งก็คือมวลที่วางบน Load Cell โดยมวลดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output แบบ Real-Time สัญญาณ Output ที่ได้จะแสดงน้ำหนักในหน่วย SI derived โดยมีข้อมูลแสดงดังรูปภาพ



รูปแสดง การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output แบบ Real-Time

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output แบบ Real-Time สามารถตรวจจับค่าได้อย่างต่อเนื่อง โดยสัญญาณ Output ที่ได้แสดงเป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived ซึ่งมีความใกล้เคียงกับมวลที่ใช้ถ่วงหลังจากการปรับสมการในการคำนวนทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 0.481 นิวตัน

4.11 สรุปผล

ในการทดลองครั้งนี้ ได้มีการทดสอบสมมติฐานว่าการเพิ่มหรือลดมวลที่วางบน Load Cell จะส่งผลให้สัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักอย่างเป็นสัดส่วน โดยใช้วงจรขยายสัญญาณ INA125 เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่แม่นยำ การทดลองเริ่มต้นจากการกำหนดค่า Gain และคำนวนค่า R_G ที่เหมาะสม ก่อนเก็บข้อมูล 1,000 ค่า ในแต่ละตำแหน่งมวลเพื่อหาค่าเฉลี่ย และปรับค่า Offset เพื่อให้สัญญาณ Output เป็นศูนย์ในสภาวะที่ไม่มีมวล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าช่วงมวล 0–1 กิโลกรัมไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงใช้สมการ Polynomial ในการคำนวนน้ำหนัก ขณะที่ช่วง 1–10 กิโลกรัมแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ใช้สมการ Linear โดยน้ำหนักที่วัดได้มีความสอดคล้องกับน้ำหนักจริง โดยค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.481 นิวตัน การทดลองยืนยันสมมติฐานว่า มวลที่กระทำต่อ Load Cell สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำและแสดงผลแบบ Real-Time ตามที่คาดหวัง

4.12 อภิปรายผล

ในการทดลองครั้งนี้ ได้มีการทดสอบสมมติฐานว่าการเพิ่มหรือลดมวลที่วางบน Load Cell จะส่งผลให้สัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักอย่างเป็นสัดส่วนหรือไม่ โดยใช้วงจรขยายสัญญาณ INA125 เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่แม่นยำและแสดงผลในหน่วย SI ผ่าน MATLAB และ Simulink การทดลองเริ่มต้นจากการกำหนดค่า Gain ภายในวงจรขยายสัญญาณ โดยคำนวนค่า R_G ที่เหมาะสมเพื่อปรับสัญญาณ Output จาก Load Cell ให้เหมาะสมกับช่วงน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ

ทีมผู้จัดทำได้ตรวจสอบความเสถียรของข้อมูลโดยเก็บข้อมูล 1,000 ค่าในแต่ละตำแหน่งมวลเพื่อหาค่าเฉลี่ยหลังจากนั้นได้ปรับค่า Offset เพื่อให้สัญญาณ Output เป็นศูนย์ในสภาวะที่ไม่มีมวล การทดลองแสดงให้เห็นว่าช่วงมวล 0–1 กิโลกรัมไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงได้ใช้สมการ Polynomial เพื่ocomputation น้ำหนักในช่วงนี้ ขณะที่ช่วงมวล 1–10 กิโลกรัมแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงใช้สมการ Linear เพื่อเพิ่มความแม่นยำของค่าที่วัดได้ ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าค่าของน้ำหนักที่ได้สอดคล้องกับน้ำหนักจริงที่ถ่วงลงบน Load Cell อย่างใกล้เคียง โดยค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.481 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

ผลการทดลองยืนยันสมมติฐานว่ามวลที่กระทำต่อ Load Cell สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำและแสดงผลแบบ Real-Time ในหน่วย SI ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองทุกประการ โดยเฉพาะการใช้สมการ Polynomial และ Linear ในการปรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและน้ำหนักในช่วงต่าง ๆ ซึ่งเพิ่มความแม่นยำของการวัด ทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงกับค่าจริงอย่างไรก็ตาม ค่า Output ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการปัจจัยดังนี้

ในการทดลองนี้ ทีมผู้จัดทำได้ตรวจสอบการวางแผนที่ลักษณะ 100 กรัมหรือ 0.1 กิโลกรัมลงบน Load Cell อย่างต่อเนื่อง และใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันที่อ่านได้ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าแรงดันดังกล่าวถูกขยายสัญญาณด้วยวงจร Gain (INA125) และวัดค่าอีกครั้งผ่านมัลติมิเตอร์ พบร่วมสัญญาณที่ได้แสดงค่าที่ไม่สอดคล้องกับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ซึ่งสะท้อนถึงการเกิดความคลาดเคลื่อนอันเป็นผลจากการขยายสัญญาณ

นอกจากนี้ การใช้ตัวต้านทานภายนอก (Single External Resistor) ในการตั้งค่า Gain ของสัญญาณมีข้อจำกัด เนื่องจากค่าความต้านทานไม่สามารถปรับได้ละเอียดถึงทศนิยม ทำให้ต้องใช้ค่าโดยประมาณ อีกทั้งหลังจากตั้งค่าความต้านทานก่อนเริ่มทดลองแล้ว เมื่อทำการวัดค่าใหม่หลังเสร็จสิ้นการทดลอง พบร่วมค่าความต้านทานได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการขยายสัญญาณ

และระหว่างการทดลองยังพบปัญหาความคลาดเคลื่อนจากสายไฟที่เชื่อมต่อ เนื่องจากเมื่อสัมผัสสายไฟอาจทำให้ค่าแรงดันพุ่งสูงขึ้น ทั้งที่ไม่มีการเพิ่มมวล

จากปัจจัยเหล่านี้ สามารถสรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนหลักๆ เกิดจากวงจรขยายสัญญาณและความไม่แม่นยำในการตั้งค่าความต้านทาน รวมถึงความเสถียรของการเดินสายไฟ ซึ่งส่งผลให้สัญญาณที่ขยายอาจไม่สอดคล้องกับสัญญาณที่ได้จาก Load Cell ในบางจุด

4.13 ข้อเสนอแนะ

4.13.1 ปรับปรุงความแม่นยำในการตั้งค่า Gain

ใช้วงจรขยายสัญญาณที่ปรับค่า Gain ได้อย่างละเอียดเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

4.13.2 ตรวจสอบคุณภาพและความเสถียรของสายไฟ

ใช้สายไฟคุณภาพสูงและเชื่อมต่อสายที่มั่นคงเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ไม่ได้เกิดจาก การเพิ่มหรือลดน้ำหนักจริง

4.13.3 การสอบเทียบค่า Offset ก่อนการทดลอง

ควรสอบเทียบค่า Offset ของ Load Cell อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ค่าเริ่มต้นที่ถูกต้องเมื่อเมื่อเวลาผ่าน

4.14 เอกสารอ้างอิง

ไพรเมส ประเทศไทย. (16 กันยายน 2563). สัญญาณ Analog และ Digital ต่างกันอย่างไร?

สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2567, จาก

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=132.BI>

Electronics Tutorials. (n.d.). Wheatstone Bridge. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>

Omega Engineering. (n.d.). Strain Gages. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://www.omega.com/en-us/resources/strain-gages>

Texas Instruments. INA125 Datasheet. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from AllDatasheet: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/847622/TI1/INA125.html>

Electronicos Caldas. YZC-131A Datasheet. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/YZC-131A.pdf>

Bourns, Inc. 3296 Datasheet. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://www.bourns.com/pdfs/3296.pdf>

Farnell. Datasheet for [Component Name or Part Number]. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://www.farnell.com/datasheets/1807347.pdf>

Mbed. ST Nucleo-G474RE. Retrieved from สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 <https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

Greed Is Goods. (n.d.). ค่า SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน. สืบค้นวันที่ 29 ตุลาคม 2024 Retrieved from <https://greedisgoods.com/ค่า-sd-คือ-ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน/>