

LAB 1: sensor

Name

- นายจักรพงษ์ ทองใบ 67340500006
- นางสาวรัชชิตา แข็งขัน 67340500035
- นายวรวิชัย ศิลารงค์ 67340500036

Objectives

- เพื่อให้สามารถออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง จาก SENSOR เพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
- เพื่อให้เรียนรู้การแปลงค่าสัญญาณของ SENSOR สามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบ
- เพื่อให้สามารถกำหนดตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม รวมถึงอธิบายจุดประสงค์การทดลองและอธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่ารองรับเชื่อถือ
- เพื่อให้สามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ย่อยทั้งหมดอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้งบันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามความเป็นจริง มีกระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองที่ จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- เพื่อให้สามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบ ตัวอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

Lab 1.1 Potentiometer

การทดลองที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของ Potentiometer แต่ละชนิด

จุดประสงค์ (การทดลองนี้สร้างขึ้นเพื่ออะไร)

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมของ Potentiometer แต่ละชนิดกับแรงดันไฟฟ้าที่ออกมา
2. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร Schmitt Trigger ร่วมกับการทำงานของ Potentiometer

สมมติฐาน

แรงดันไฟฟ้าของ Potentiometer จะแปรผันตรงกับตำแหน่งการหมุนของ Rotary Potentiometer การเลื่อนของ Linear Potentiometer

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ระยะการหมุนของ rotary potentiometer
 - ระยะการเลื่อนเชิงเส้นของ linear potentiometer
 - Upper กับ lower Threshold ของวงจร Schmitt Trigger
2. ตัวแปรตาม:
 - ค่าที่ออกมาจาก Potentiometer
3. ตัวแปรควบคุม:
 - แรงดันที่จ่ายเข้าบอร์ด STM32
 - ชุดการทดลอง
 - ความสมบูรณ์ของ potentiometer แต่ละประเภท

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Potentiometer คือ ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่มี 3 ขั้ว ขั้วสองขั้วเชื่อมต่อกับปลายด้านตรงข้ามของตัวต้านทาน และขั้วที่สามเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัสแบบเลื่อนที่เรียกว่าไวเปอร์ ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านตัวต้านทาน Potentiometer ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งความต้านทานแบบปรับค่าได้ ตัวต้านทานสามารถมองได้ว่าเป็นตัวต้านทานสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน (ความต้านทานรวมของ potentiometer) โดยตำแหน่งของไวเปอร์จะกำหนดอัตราส่วนความต้านทานของตัวต้านทานตัวแรกต่อตัวต้านทานตัวที่สอง หากมีการจ่ายแรงดันอ้างอิงข้ามขั้วปลายทั้งสอง ตำแหน่งของไวเปอร์จะกำหนดแรงดันเอาต์พุตของ Potentiometer

Type of Potentiometer มี Potentiometer ให้เลือกหลากหลายชนิด โพเทนชิโอมิเตอร์แบบปรับด้วยมือสามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดหมุนและชนิดเชิงเส้น นอกจาก Potentiometer แบบปรับด้วยมือแล้ว ยังมี Potentiometer แบบควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ให้เลือกใช้ ซึ่งมักเรียกว่า Potentiometer แบบดิจิทัล

Rotary potentiometers potentiometer ชนิดที่พบมากที่สุด จะใช้ wiper หมุนเคลื่อนที่ไปตาม circular path ประกอบด้วยพิน 2 พินที่เชื่อมต่อกับองค์ประกอบต้านทานที่วางในรูปแบบครึ่งวงกลมและอีกพินหนึ่งที่เชื่อมต่อกับปุ่มหมุน ตัวอย่าง Single-turn pot , multi-turn pot, Dual-gang pot, Concentric pot, Servo pot , Dual-gang potentiometer, Concentric potentiometer, Multi-turn potentiometer

Linear potentiometers Potentiometers ชนิดนี้ wiper จะมีทิศทางการเคลื่อนที่ตาม linear path เรียกอีกอย่างว่า slider, slide pot or fader Digital Potentiometer Potentiometers แบบดิจิทัลคือส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมด้วยดิจิทัลซึ่งคล้ายกับ Potentiometers ในแง่ของฟังก์ชันอานาล็อก เป็นอุปกรณ์ปลายทาง 3 ขั้ว โดยที่ขั้ว 2 ขั้วจะเชื่อมต่อกับขั้วปลาย และขั้วสุดท้ายจะเชื่อมต่อกับขั้ว wiper เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าขาออก สามารถปรับความต้านทานระหว่างขั้วต่อปลายได้โดยใช้สัญญาณอินพุตดิจิทัล เช่น up or down signals หรือ protocols using I2C and SPI

การคำนวณแรงดันในตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Calculation) Potentiometer มักใช้ในวงจรตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งแบ่งแรงดันไฟฟ้าตามค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง โดยสามารถคำนวณแรงดันที่จุดแบ่ง โดยมีสูตรดังนี้

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

V_{in} คือแรงดันไฟฟ้าขาเข้า

V_{out} คือแรงดันไฟฟ้าขาออก

ขั้นตอนการดำเนินงาน

วิธีการเก็บค่าของ Rotation Potentiometer

- 1.กำหนดระยะที่จะเก็บโดยเพิ่มทีละ 10 ค่าตามสเกลบนบอร์ด เริ่มจาก 0, 10, ... ,100
- 2.นำค่าออกไปที่ Excel เพื่อสรุปผลและทำกราฟเพื่อเปรียบเทียบ
- 3.ทำซ้ำจนครบทั้ง 3 ครั้ง
- 4.ทำซ้ำจนครบทั้ง 3 Type

วิธีการเก็บค่าของ Linear Potentiometer

- 1.กำหนดระยะที่จะเก็บโดยเพิ่มทีละ 1 เซนติเมตร ตามสเกลบนบอร์ด เริ่มจาก 0 , 1, ... ,6 และเก็บค่าที่ระยะนั้น 100 ค่า
- 2.นำค่าออกไปที่ Excel เพื่อสรุปผลและทำกราฟเพื่อเปรียบเทียบ
- 3.ทำซ้ำจนครบทั้ง 3 ครั้ง
- 4.ทำซ้ำจนครบทั้ง 2 Type

วิธีการทดลอง Schmitt Trigger

- 1.กำหนดค่า Upper Threshold Voltage และ ค่า Lower Threshold Voltage

ผลการทดลอง

แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มคือ Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer

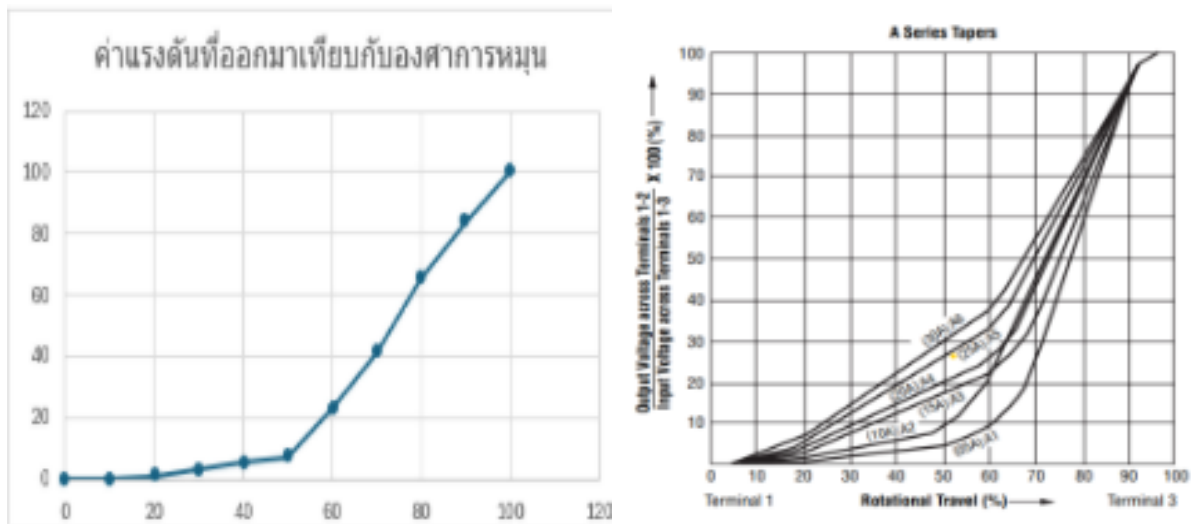
ผลการทดลองการปรับค่า Rotary Potentiometer Type A

| หมุนที่ค่าตาม POTEN บนบอร์ด | ค่า ADC ณ ช่วงนั้น 100ค่า | ค่า V ที่ออกมา |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0.75 | 0 |
| 20 | 40 | 0.036666667 |
| 30 | 125.6666667 | 0.1 |
| 40 | 215 | 0.173333333 |
| 50 | 299.6666667 | 0.24 |

| | | |
|-----|-------------|-------------|
| 60 | 945.6666667 | 0.76 |
| 70 | 1698 | 1.366666667 |
| 80 | 2670 | 2.153333333 |
| 90 | 3448.666667 | 2.77 |
| 100 | 4095 | 3.3 |

ตาราง แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย Voltage และ ระยะในการเลื่อน Rotary Potentiometer Type A

จากตารางผลการทดลองและกราฟที่นำค่าไป plot พบว่า มีความใกล้เคียงกับ ข้อมูลและกราฟใน datasheet ดังนี้



รูปภาพกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Potentiometer A type ที่คณะผู้จัดทำทดลอง และ ข้อมูลจาก Datasheet

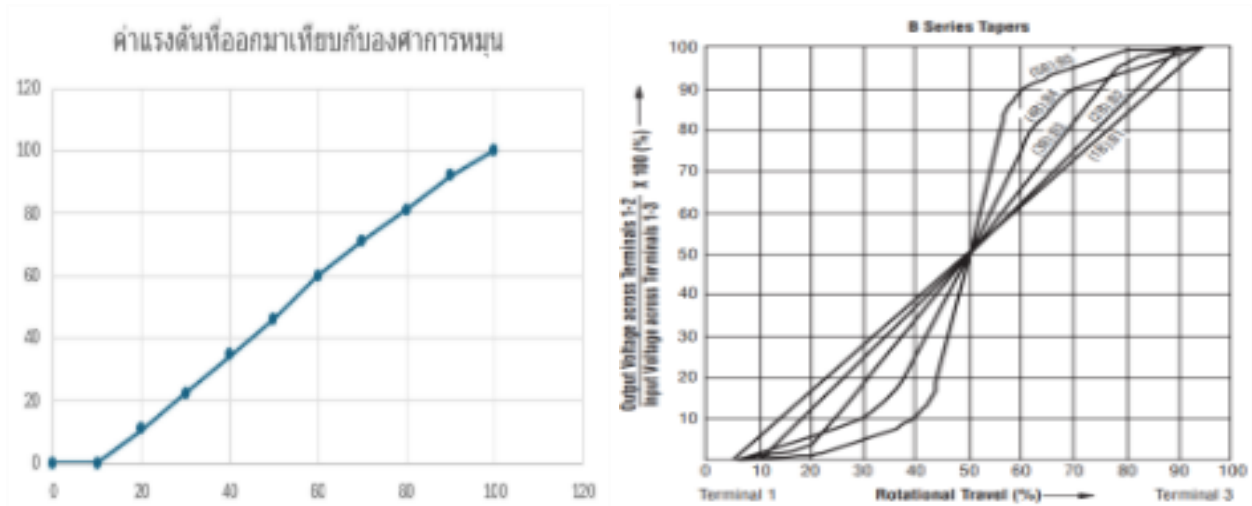
ผลการทดลองการปรับค่า Potentiometer Type B

| หมุนที่ค่าตาม POTEN บนบอร์ด | ค่า ADC ณ ช่วงนั้น 100ค่า | ค่า V ที่ออกมา |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0.183333333 | 0 |
| 20 | 707.3333333 | 0.35 |
| 30 | 1445 | 0.733333333 |
| 40 | 2050.333333 | 1.133333333 |
| 50 | 2451.666667 | 1.52 |

| | | |
|-----|-------------|-------------|
| 60 | 2866.666667 | 1.976666667 |
| 70 | 3197 | 2.343333333 |
| 80 | 3498 | 2.666666667 |
| 90 | 3863.333333 | 3.03 |
| 100 | 4095 | 3.3 |

ตาราง แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย Voltage และ ระยะในการเลื่อน Rotary Potentiometer Type B

จากตารางผลการทดลองและกราฟที่นำค่าไป plot พบว่า มีความใกล้เคียงกับ ข้อมูลและกราฟใน datasheet ดังนี้



รูปภาพกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Potentiometer B type ที่คณะผู้จัดทำทดลอง และ ข้อมูลจาก Datasheet

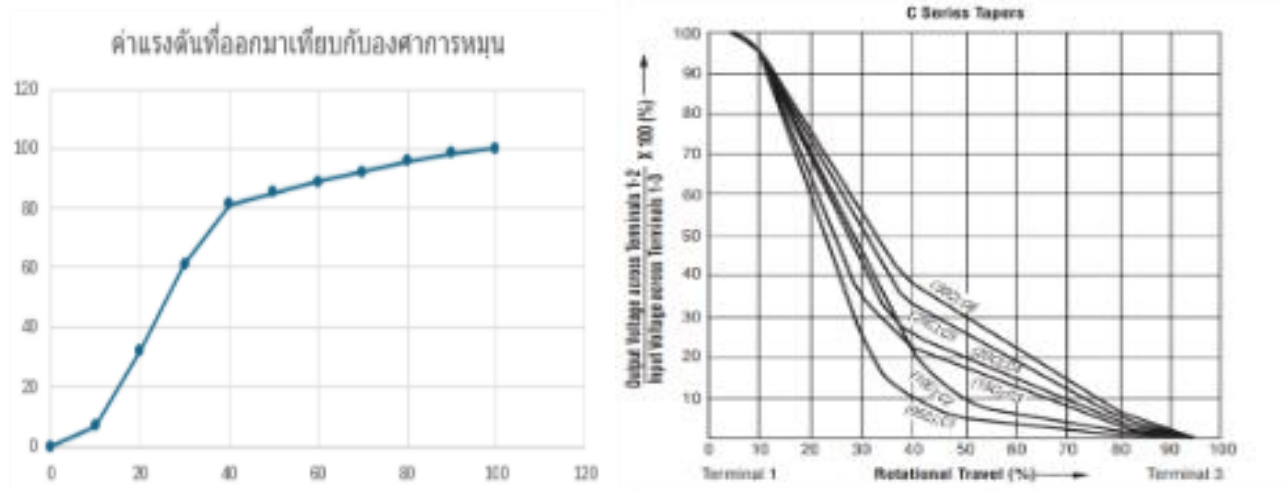
ผลการทดลองการปรับค่า Potentiometer Type C

| หมุนที่ค่าตาม POTEN บนบอร์ด | ค่า ADC ณ ช่วงนั้น 100ค่า | ค่า V ที่ออกมา |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 289.3333333 | 0.2233333333 |
| 20 | 1348.333333 | 1.06 |
| 30 | 2538.333333 | 2.016666667 |
| 40 | 3325.666667 | 2.686666667 |
| 50 | 3475.666667 | 2.81 |
| 60 | 3627 | 2.933333333 |

| | | |
|-----|-------------|-------------|
| 70 | 3767.333333 | 3.043333333 |
| 80 | 3923.333333 | 3.16 |
| 90 | 4030.333333 | 3.25 |
| 100 | 4095 | 3.3 |

ตาราง แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย Voltage และ ระยะในการเลื่อน Rotary Potentiometer Type C

จากตารางผลการทดลองและกราฟที่นำค่าไป plot พบว่า มีความใกล้เคียงกับ ข้อมูลและกราฟใน datasheet ดังนี้



รูปภาพกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Potentiometer C type ที่คณะผู้จัดทำทดลอง และ ข้อมูลจาก Datasheet

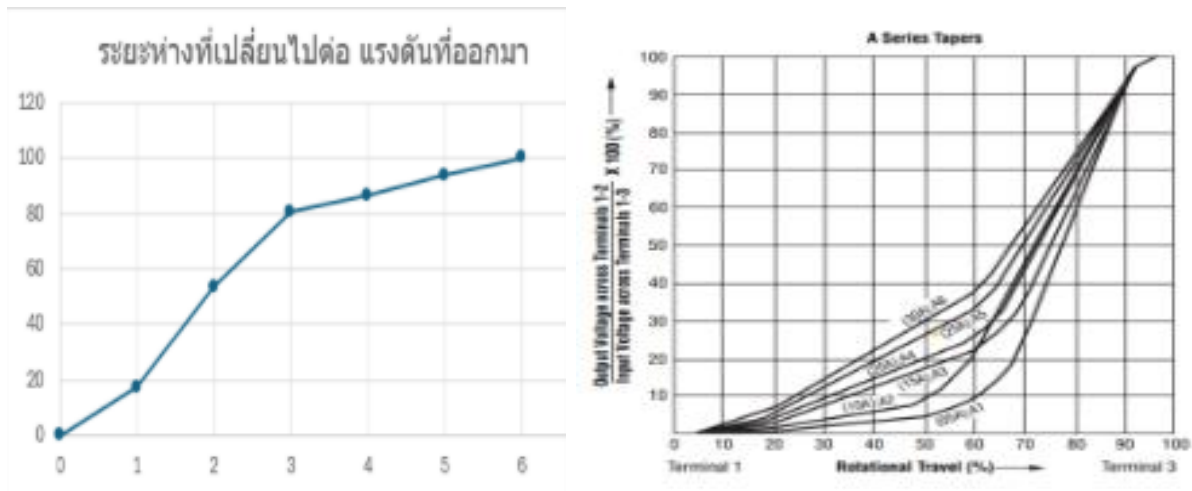
ผลการทดลองการปรับค่า Linear Potentiometer A

| ระยะทางที่เปลี่ยน 1 cm | ค่า ADC ณ ช่วงนั้น 100ค่า | ค่า V ที่ออกมา |
|------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 704.6666667 | 0.57 |
| 2 | 2186 | 1.766666667 |
| 3 | 3269 | 2.653333333 |
| 4 | 3535.666667 | 2.85 |
| 5 | 3837.333333 | 3.093333333 |

| | | |
|---|------|-----|
| 6 | 4095 | 3.3 |
|---|------|-----|

ตาราง แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย Voltage และ ระยะในการเลื่อน Linear Potentiometer

จากตารางผลการทดลองและกราฟที่นำค่าไป plot พบว่า มีความใกล้เคียงกับ ข้อมูลและกราฟใน datasheet ดังนี้



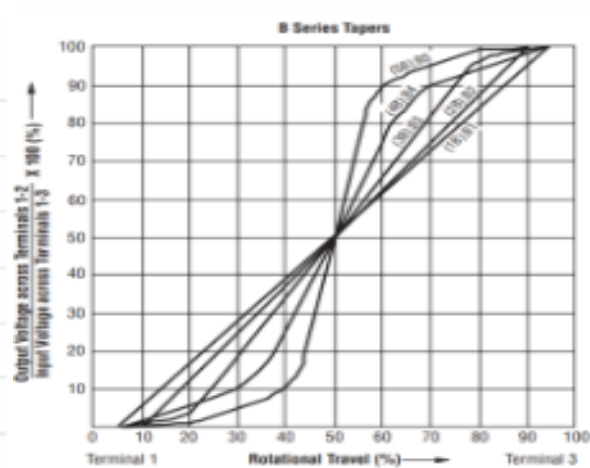
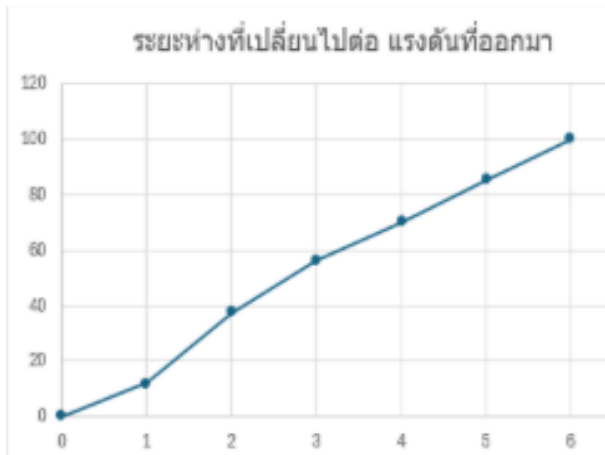
รูปภาพกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Linear Potentiometer A type ที่คณะผู้จัดทำทดลอง และ ข้อมูลจาก Datasheet

ผลการทดลองการปรับค่า Linear Potentiometer B

| ระยะทางที่เปลี่ยน 1 cm | ค่า ADC ณ ช่วงนั้น 100ค่า | ค่า V ที่ออกมา |
|------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 353.3333333 | 0.403333333 |
| 2 | 1087.333333 | 1.24 |
| 3 | 5106.666667 | 1.85 |
| 4 | 2541.333333 | 2.31 |
| 5 | 3300.666667 | 2.816666667 |
| 6 | 4095 | 3.3 |

ตาราง แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย Voltage และ ระยะในการเลื่อน Linear Potentiometer

จากตารางผลการทดลองและกราฟที่นำค่าไป plot พบว่า มีความใกล้เคียงกับ ข้อมูลและกราฟใน datasheet ดังนี้



รูปภาพเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Linear Potentiometer B type ที่คณะผู้จัดทำทดลองและข้อมูลจาก Datasheet

เมื่อเทียบกราฟแล้วจะพบว่า ค่าใน data sheet ของแต่ละ type ซึ่งค่าจาก datasheet จะมี error bar

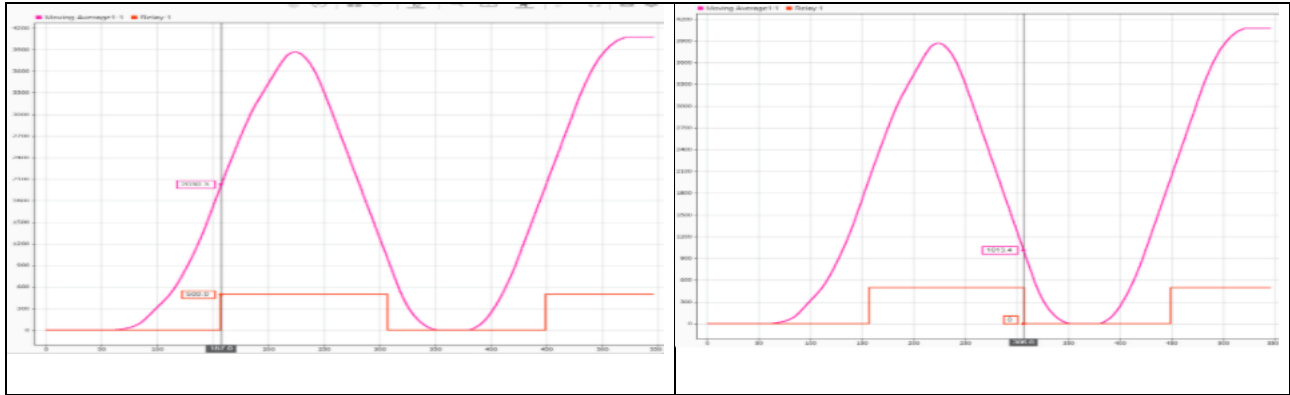
$\pm 20\%$ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากตรงตาม Datasheet

| Electrical | |
|--------------------------------|---|
| Resistance Range, Ohms | 500 -1M |
| Standard Resistance Tolerance | $\pm 20\%$ |
| Resistance Tapers | A,B,C |
| Residual Resistance, Max. | Term. 1-2 : 10 ohms, Term 2-3: 30 ohms |
| Input Voltage, Maximum | 200Vdc |
| Power rating, Watts | Linear B taper: 0.25W Other tapers: 0.125W |
| Dielectric Strength | 300Vac, 1 minute |
| Insulation Resistance, Minimum | 100M ohms at 250Vdc/ 1 minute |
| Sliding Noise | Less than 100mV |
| Gang Error | $\pm 3dB$ (-40dB to 0dB) |

รูปแสดงถึงค่า Standard Resistance Tolerance

ทดลองต่อยอดโดยเชื่อมต่อวงจร Schmitt Trigger

| | |
|-------------------|-----------------|
| Schmitt ขอบขาขึ้น | Schmitt ขอบขาลง |
|-------------------|-----------------|



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า Potentiometer Type A ของทั้งชนิด Rotation และ Linear Slide มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าในช่วงต้น และเพิ่มขึ้นเร็วมากในช่วงปลาย กราฟมีแนวโน้มสอดคล้องกับ Datasheet ค่าแรงดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนสูงสุด ส่วน Potentiometer Type B ของทั้งชนิด Rotation และ Linear Slide ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงการหมุน กราฟจากการเก็บข้อมูลเป็นเส้นตรงขึ้นไปเกือบเชิงเส้น ค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงคงที่ตามองศาการหมุน ส่วน Potentiometer Type C ของ Rotation ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นเร็วในช่วงต้น และค่อย ๆ ช้าลงในช่วงปลาย ค่าที่เก็บได้มีแนวโน้มตรงกันกับลักษณะจาก Datasheet กราฟมีการเปลี่ยนแปลงสูงในช่วงต้น และแบนราบในช่วงปลาย

จากการทดลองของวงจร Schmitt Trigger สามารถเปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ digital ได้ k และสถานะที่ได้จากการเปลี่ยน มีแค่ High กับ Low ซึ่งเราสามารถระบุค่า ที่จะให้สัญญาณ Analog ที่ค่านั้น เป็น High ได้โดยใช้ค่า Upper Threshold และจะให้ เป็น Low ได้โดยการกำหนด Low Threshold ซึ่งค่านี้จะส่งผลทำให้ค่าที่ออกจากวงจรนี้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

จากการทดลองเรื่อง การศึกษาการทำงานของ Potentiometer และวงจร Schmitt Trigger พบว่าสามารถทำความเข้าใจพฤติกรรมของตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) ทั้งในรูปแบบของการหมุน (Rotary Type) และการเลื่อนเชิงเส้น (Linear Slide Type) ได้อย่างชัดเจน โดยในครั้งนี้ได้ทดสอบ Potentiometer ทั้งสามประเภท ได้แก่ Type A, Type B และ Type C ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างของตัวต้านทานภายใน และสอดคล้องกับกราฟลักษณะการตอบสนองใน Datasheet อย่างชัดเจน

สำหรับ Potentiometer Type A (แบบ Logarithmic) จากผลการทดลองพบว่าแรงดันที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าในช่วงต้นของการหมุน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงปลาย ทำให้กราฟแรงดันที่ได้มีลักษณะโค้งคล้ายเส้นลอการิทึม ซึ่งตรงกับข้อมูลทางทฤษฎีใน Datasheet โดยลักษณะเช่นนี้เหมาะกับการนำไปใช้งานในวงจรควบคุมเสียง เช่น ปุ่มปรับระดับเสียง

(Volume Control) ที่ต้องการให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระดับเสียงได้อย่างละเอียดในช่วงต้นและตอบสนองไวขึ้นในช่วงปลายของการหมุนปุ่ม

ในส่วนของ Potentiometer Type B (แบบ Linear) ผลจากการทดลองพบว่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงของการหมุนหรือตลอดระยะการเลื่อนของแกนเลื่อน ค่าแรงดันที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ตามอัตราการหมุนหรือระยะการเลื่อน ส่งผลให้กราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลเป็นเส้นตรงเกือบเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของ Linear Potentiometer ที่ให้ความสัมพันธ์แบบตรงระหว่างแรงดันกับตำแหน่งการหมุน ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานวัดตำแหน่ง (Position Sensor) หรืองานควบคุมที่ต้องการการตอบสนองแบบสม่ำเสมอตลอดช่วงการทำงาน

สำหรับ Potentiometer Type C (แบบ Anti-logarithmic) พบว่าค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการหมุน กราฟที่ได้จากการทดลองมีลักษณะตรงข้ามกับ Type A ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติใน Datasheet ที่บ่งบอกถึงการตอบสนองแบบ Anti-logarithmic การเปลี่ยนแปลงแรงดันลักษณะนี้เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการให้แรงดันตอบสนองไวตั้งแต่ต้น แต่ค่อย ๆ ช้าลงในช่วงปลาย เช่น การควบคุมความสว่างของไฟหรือความเร็วของมอเตอร์ที่ต้องการการตอบสนองไวในช่วงต้นของการปรับค่า

เมื่อทดลองต่อยอดโดยเชื่อมต่อวงจร Schmitt Trigger เพื่อแปลงสัญญาณ Analog จาก Potentiometer ให้เป็นสัญญาณ Digital พบว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามหลักการทฤษฎีอย่างถูกต้อง โดยสัญญาณเอาต์พุตจะมีเพียงสองสถานะคือ High (1) และ Low (0) ซึ่งการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุตที่เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้เป็น Upper Threshold และ Lower Threshold หากแรงดันอินพุตสูงกว่า Upper Threshold สัญญาณเอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นสถานะ High และเมื่อแรงดันอินพุตลดต่ำกว่า Lower Threshold สัญญาณจะเปลี่ยนกลับเป็น Low ลักษณะการกำหนด Threshold ทั้งสองค่านี้ช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนและทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีความเสถียรมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

- ควรลดปัจจัยที่มีผลต่อความผันผวน หรือ ผลการทดลองให้มากที่สุด เช่น สายไฟที่มีคุณภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ

อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

<https://www.electrical4u.com/potentiometer/>

<https://www.mdpi.com/2079-9292/10/2/181>

<https://www.doeet.com/content/eee-components/passives/basic-principles-of-potentiometers-variable-resistors/>

Lab 1.3 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

การทดลองที่ 1 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ **Magnetic Sensor** และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)
2. เพื่อทดลองวัดและคำนวณค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (**Magnetic Flux Density**) จากแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้
3. เพื่อศึกษาลักษณะและสัญญาณเอาต์พุตของ Magnetic Sensor เมื่อค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง
4. เพื่อศึกษาผลของ **Magnetic Shielding** และความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Shielding กับ Magnetic Flux Density
5. เพื่อแสดงผลข้อมูลของสัญญาณ Output และเปรียบเทียบกับสัญญาณ Input แบบ Real-Time โดยใช้หน่วยตามระบบ SI
6. เพื่อฝึกการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ผลและการสรุปผลการทดลองอย่างมีเหตุผลและสอดคล้องกับทฤษฎี
7. เพื่อฝึกการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลและเข้าใจหลักการทำงานของ Magnetic Sensor

สมมติฐาน

เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผล ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
 - การติดตั้ง Shield ที่ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
2. ตัวแปรตาม:
 - ฟลักซ์ของแม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้า

3. ตัวแปรควบคุม:

- Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
- หน่วยการวัด

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการทำงานของ Magnetic Sensors

Magnetic Sensors มีหลักการทำงานโดยอาศัยผลของสนามแม่เหล็กที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุบางชนิด เช่น วัสดุที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กไฟฟ้า แถบแม่เหล็ก หรือขดลวด เมื่อเซนเซอร์แม่เหล็กอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก คุณสมบัติไฟฟ้าบางอย่างของเซนเซอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ความต้านทาน แรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า โดยอาจจะเกิดจากแรงดึงดูดแม่เหล็ก แรงลอเรนซ์ ผลฮอลล์ หรือผลแมกนีโตรีซิสทีฟ เมื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ เซ็นเซอร์จะแปลงเป็นสัญญาณเอาต์พุตเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป Sensors Magnetic ที่มีความไวและความละเอียดสูงสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแม่เหล็กแม้เพียงเล็กน้อยได้

การคำนวณหาMagnetic Response

$$V = V + B \times Sensitivity(25^{\circ}C) \times 1 + S_{TC} \times (T - 25^{\circ}C)$$

V_Q คือค่าแรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของ Vcc

B คือค่า Magnetic Flux Density

$Sensitivity(25^{\circ}C)$ คือค่าที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และ Vcc

S_{TC} is typically 0.12%/°C for device options DRV5055A1 - DRV5055A4 and is 0%/°C

T_A คืออุณหภูมิ ณ ปัจจุบัน

V_{out} คือแรงดันไฟฟ้าขาออก Magnetic Response หมายถึงการตอบสนองของวัสดุหรือเซ็นเซอร์เมื่อสัมผัสกับสนามแม่เหล็ก การตอบสนองนี้สามารถวัดได้ในแง่ของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตไฟฟ้า หรือพฤติกรรมของระบบภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก

Sensitivity Linearity

The device produces a linear response when the output voltage is within the specified V_L range. Outside this range, sensitivity is reduced and nonlinear. Figure 7-3 graphs the magnetic response.

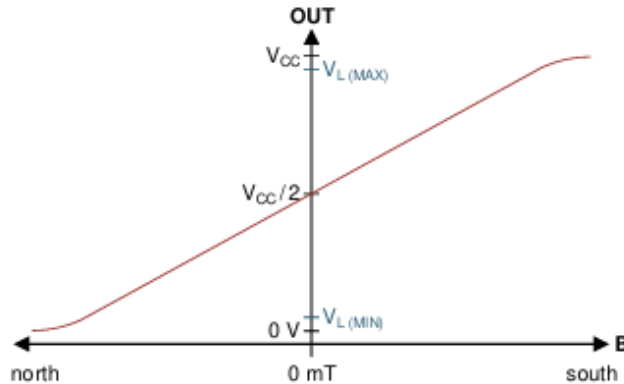


Figure 7-3. Magnetic Response

Equation 2 calculates parameter B_L , the minimum linear sensing range at 25°C taking into account the maximum quiescent voltage and sensitivity tolerances.

$$B_{L(MIN)} = \frac{V_{L(MAX)} - V_{Q(MAX)}}{S_{(MAX)}} \quad (2)$$

The parameter S_{LE} defines linearity error as the difference in sensitivity between any two positive B values, and any two negative B values, while the output is within the V_L range.

The parameter S_{SE} defines symmetry error as the difference in sensitivity between any positive B value and the negative B value of the same magnitude, while the output voltage is within the V_L range.

รูปทฤษฎี sensitivity linearity

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. รับค่าสัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เซนเซอร์บอร์ด Nucleo STM32G474RE และใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” สำหรับการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital
2. นำค่าที่ได้มาแปลงเป็น V_{out} บอร์ด Nucleo STM32G474RE รับค่าสัญญาณได้ 12 - bit (จาก $2^{12} = 4096$) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 - 4095 เราจึงต้องทำการหารด้วย 4096 หาร เพื่อให้ค่าสัญญาณของเราอยู่ในช่วง 0 - 1 โดยเป็นค่าผลลัพธ์สัดส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากสัญญาณ Analog เมื่อเราได้ค่าสัญญาณที่อยู่ในช่วง 0 - 1 ที่เป็นผลลัพธ์สัดส่วน และคูณค่า 3.3 เพื่อให้ค่าสัญญาณที่ได้อยู่ในสัดส่วน 0 - 3.3 ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ของของระยะการเลื่อน และการหมุน
3. ทำการกำหนดระยะทางของตำแหน่งในแต่ละจุดที่จะบันทึกค่า โดย Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic แบบไม่ใส่ Shield ตำแหน่งระยะเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุด ระยะเริ่มต้นจะอยู่ที่ขีดที่ 1.5 ซม. และทางที่สุดคือ 4.5 ซม. ซึ่งจะมีระยะทางทั้งหมด 3 ซม. แสดงว่าจะต้องทำการเก็บค่าตำแหน่ง แล้วทำการ เลื่อนทีละ 0.5

ซม. เมื่อเลื่อนระยะทางตั้งแต่ 1.5 – 4.5 ซม. เสร็จสิ้น ให้ทำการกลับ ขั้วแม่เหล็กที่อยู่ในชั้นสวอน 3D-Print แล้วทำการเก็บค่าแบบเดิมซ้ำและแบบ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic แบบใส่ Shield ตำแหน่งระยะเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุด ระยะเริ่มต้นจะอยู่ที่ขีดที่ 1.5 ซม. และทางที่สุดคือ 4.5 ซม. ซึ่งจะมีระยะทางทั้งหมด 3 ซม. แสดงว่าจะต้องทำการเก็บค่าตำแหน่ง แล้วทำการ เลื่อนทีละ 0.5 ซม. เมื่อเลื่อนระยะทางตั้งแต่ 1.5 – 4.5 ซม. เสร็จสิ้น ให้ทำการกลับ ขั้วแม่เหล็กที่อยู่ในชั้นสวอน 3D-Print แล้วทำการเก็บค่าแบบเดิมซ้ำ



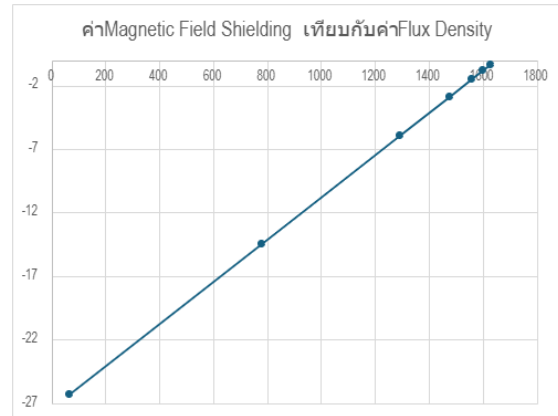
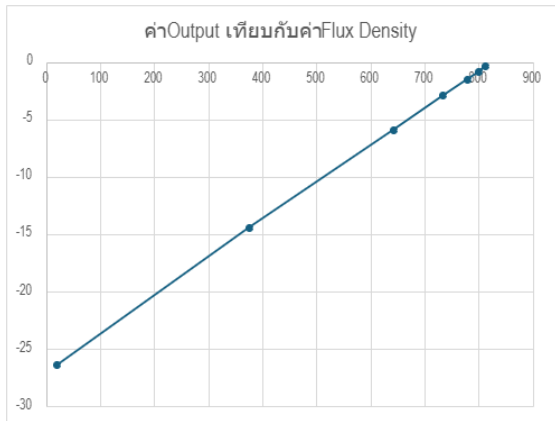
4. บันทึกผลและวิเคราะห์นำข้อมูลที่ไดมา plot กราฟเพื่อแสดงถึงการเปรียบเทียบค่าต่างๆ

ผลการทดลอง

ผลการทดลอง Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic แบบไม่สลับขั้วและใส่ Shield

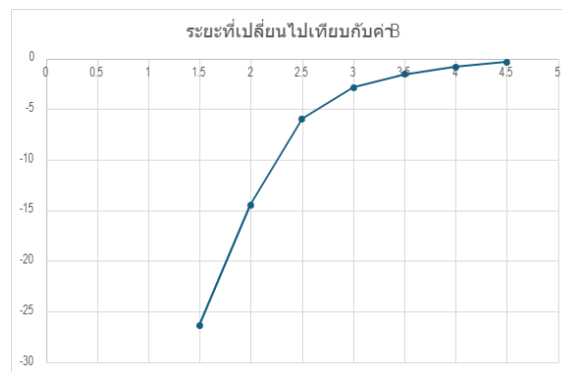
| ที่ระยะ | ค่าADC | ค่า mV | ค่า B |
|---------|-------------|-------------|--------|
| 4.5 | 812.5306227 | 1628.376068 | -0.36 |
| 4 | 800.462674 | 1601.043956 | -0.82 |
| 3.5 | 778.8653297 | 1557.804151 | -1.54 |
| 3 | 734.7288462 | 1476.377289 | -2.89 |
| 2.5 | 642.9770513 | 1293.285714 | -5.95 |
| 2 | 375.4138828 | 781.1611722 | -14.48 |
| 1.5 | 21.13355311 | 68.7990232 | -26.35 |

ตารางที่แสดงค่าที่ทดลอง



กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าoutput เทียบกับ flux density และ ค่า magnetic field shielding เทียบกับ flux density

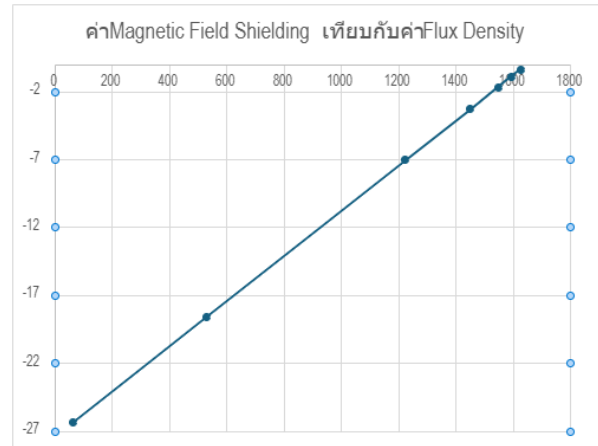
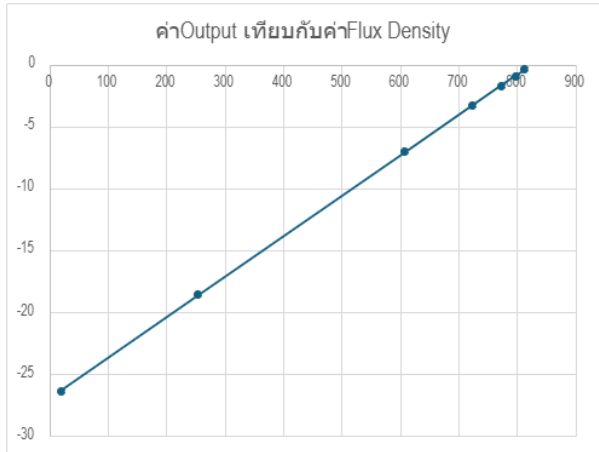
กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะที่เปลี่ยนไปเทียบกับค่า flux density



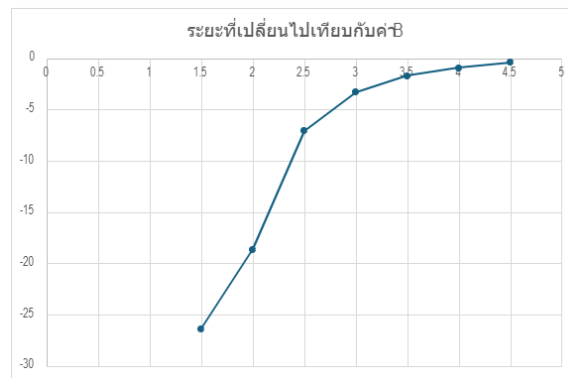
ผลการทดลอง Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic แบบไม่สลับขั้วและไม่ใส่ Shield

| ที่ระยะ | ค่าADC | ค่า mV | ค่า B |
|---------|-------------|-------------|--------|
| 4.5 | 812.9235531 | 1626.495726 | -0.39 |
| 4 | 797.3171978 | 1593.724054 | -0.94 |
| 3.5 | 772.7613736 | 1547.521368 | -1.71 |
| 3 | 724.4205861 | 1451.261294 | -3.31 |
| 2.5 | 608.1878205 | 1224.532357 | -7.09 |
| 2 | 254.602326 | 532.3086691 | -18.63 |
| 1.5 | 19.61771062 | 65.46813187 | -26.41 |

ตารางที่แสดงค่าที่ทดลอง



กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าoutput เทียบกับ flux density และ ค่า magnetic field shielding เทียบกับ flux density

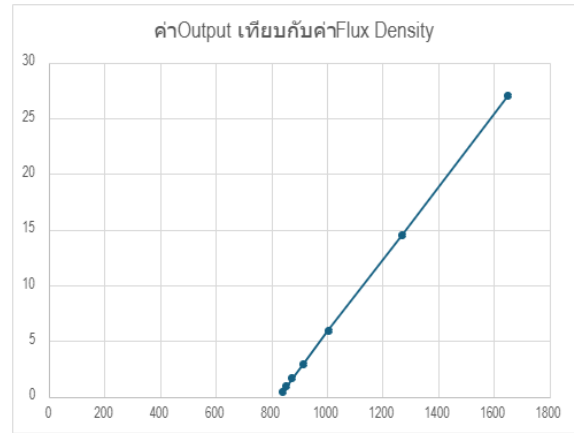
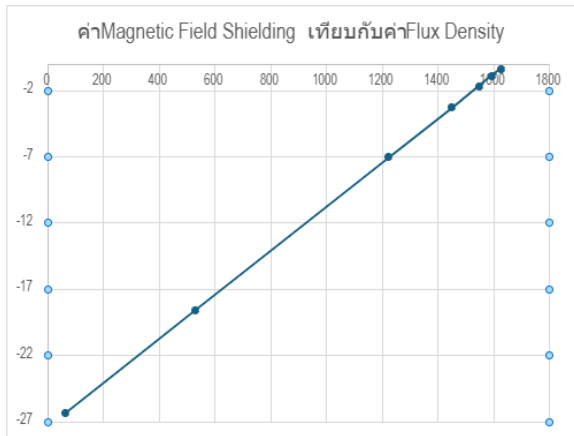


กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะที่เปลี่ยนไปเทียบกับค่า flux density

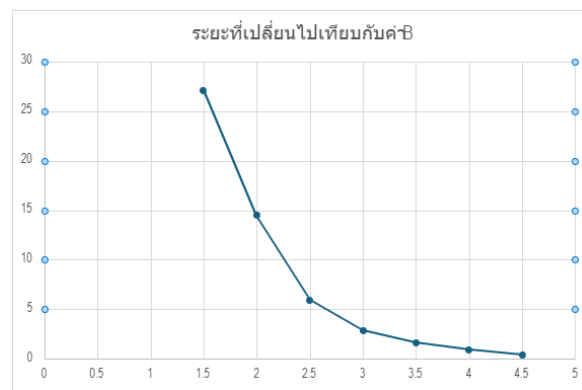
ผลการทดลอง Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic แบบสลับขั้วและใส่ Shield

| ที่ระยะ | ค่าADC | ค่า mV | ค่า B |
|---------|-------------|-------------|-------|
| 4.5 | 839.9119597 | 1675.115995 | 0.42 |
| 4 | 853.8815934 | 1706.544567 | 0.94 |
| 3.5 | 874.771044 | 1747.643468 | 1.63 |
| 3 | 913.2965018 | 1823.931624 | 2.9 |
| 2.5 | 1005.440842 | 2004.981685 | 5.92 |
| 2 | 1268.800092 | 2518.046398 | 14.47 |
| 1.5 | 1650.626227 | 3273.675214 | 27.06 |

ตารางที่แสดงค่าที่ทดลอง



กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าoutput เทียบกับ flux density และ ค่า magnetic field shielding เทียบกับ flux density

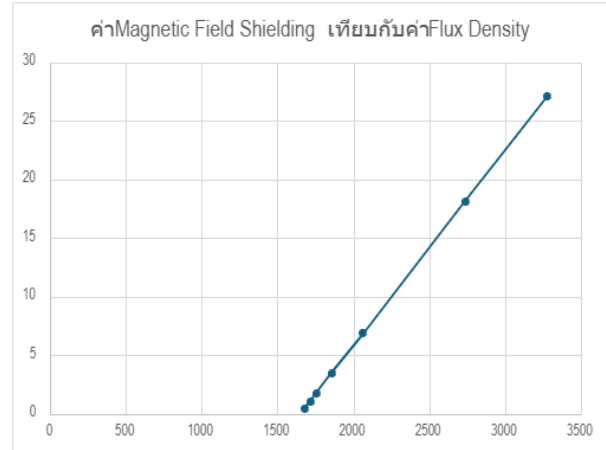
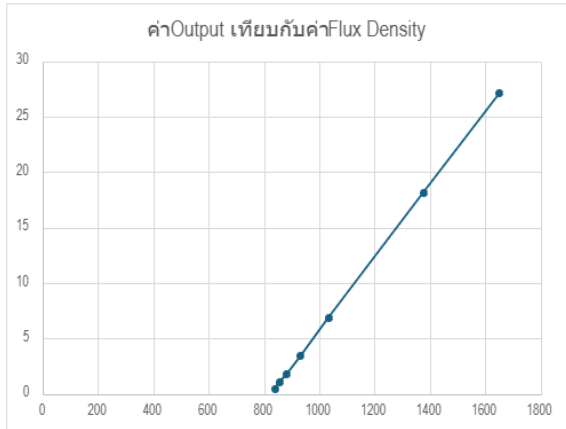


กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะที่เปลี่ยนไปเทียบกับค่า flux density

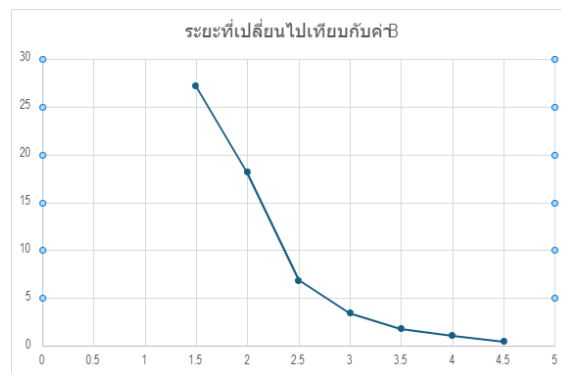
ผลการทดลอง Ratiomet Linear Hall Effect Magnetic แบบสลัขั่วและไม่ใช่ Shield

| ที่ระยะ | ค่าADC | ค่า mV | ค่า B |
|---------|-------------|-------------|-------|
| 4.5 | 839.1310989 | 1677.533578 | 0.46 |
| 4 | 856.7521062 | 1714.065934 | 1.07 |
| 3.5 | 880.4820696 | 1756.776557 | 1.78 |
| 3 | 931.9813004 | 1857.509158 | 3.46 |
| 2.5 | 1033.72804 | 2061.929182 | 6.87 |
| 2 | 1376.182857 | 2737.509158 | 18.13 |
| 1.5 | 1652.292949 | 3277.704518 | 27.13 |

ตารางที่แสดงค่าที่ทดลอง



กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าoutput เทียบกับ flux density และ ค่า magnetic field shielding เทียบกับ flux density



กราฟเปรียบเทียบระหว่างระยะที่เปลี่ยนไปเทียบกับค่า flux density

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กแบบ Ratiometric Linear Hall Effect Sensor มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กและตัวเซนเซอร์ในลักษณะเชิงเส้นโดยเมื่อระยะทางระหว่างแม่เหล็กกับเซนเซอร์ลดลง สนามแม่เหล็กที่ตกกระทบบต่อหน้าสัมผัสของเซนเซอร์จะมีความเข้มมากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากผลของ Hall Effect มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กที่ส่งถึงเซนเซอร์ลดลง แรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ก็จะลดลงเช่นกันหลักการนี้เกิดจากปรากฏการณ์ Hall Effect ซึ่งอธิบายว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแผ่นนำไฟฟ้าภายใต้สนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ขึ้นในแนวตั้งฉากกับทิศของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยแรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อเซนเซอร์จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเซนเซอร์ที่มีการป้องกันสนามแม่เหล็ก (Shielded) และเซนเซอร์ที่ไม่มีการป้องกัน (Unshielded) พบว่า เซนเซอร์ที่ไม่มีการป้องกันมีการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กได้ดีกว่า

ค่าแรงดันไฟฟ้าเซนเซอร์ที่ไม่มีการป้องกันวัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องและชัดเจนกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไว (Sensitivity) ของเซนเซอร์ที่สูงกว่า ในขณะที่เซนเซอร์ที่มีการป้องกันบางส่วนจะมีการลดทอนของสนามแม่เหล็กทำให้ค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงนอกจากนี้ ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับค่า Magnetic Flux Density มีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจาก Hall Effect ก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สอดคล้องกัน ความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้เป็นไปตามหลักการของ Ratiometric Linear Hall Effect ซึ่งยืนยันถึงความถูกต้องของสมมติฐานในการทดลองว่าเมื่อระยะทางเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองโดยรวมสามารถสรุปได้ว่า เซนเซอร์ Ratiometric Linear Hall Effect สามารถแปลงค่าความแรงของสนามแม่เหล็กให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจนโดยเมื่อระยะทางเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า เซนเซอร์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กแบบ Ratiometric Linear Hall Effect Sensor สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กได้อย่างชัดเจน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเอาต์พุตของเซนเซอร์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density, B) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของ Magnetic Sensor ได้อย่างถูกต้องตามทฤษฎี ในการทดลอง ผู้ทดสอบได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเคลื่อนย้ายแม่เหล็กเข้าใกล้หรือออกจากตัวเซนเซอร์ พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Magnetic Flux Density ซึ่งสอดคล้องกับสมการพื้นฐานของ Hall Effect ที่ระบุว่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นสัดส่วนกับความแรงของสนามแม่เหล็กที่มากระทำต่อเซนเซอร์

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการใช้ Magnetic Shielding กับกรณีที่ไม่มีการป้องกัน พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ไม่มีการป้องกันมีค่ามากกว่าและเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กได้ชัดเจนกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของ Magnetic Shielding ที่สามารถลดทอนหรือบังสนามแม่เหล็กได้จริง โดยค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density มีลักษณะเป็นสัดส่วนผกผัน กล่าวคือ ยิ่งการป้องกันมีประสิทธิภาพสูง ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ตกกระทบเซนเซอร์ก็จะลดลง

ในการแสดงผลของสัญญาณเอาต์พุต พบว่าสามารถแปลงสัญญาณจากอินพุตแม่เหล็กให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้แบบ Real-Time และสัญญาณที่ได้ยังคงมีลักษณะเชิงเส้นระหว่างค่า Magnetic Flux Density กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งสามารถแสดงค่าได้ในหน่วย SI Derived (Tesla) ทั้งนี้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบ Raw Signal ซึ่งสะท้อนค่าจริงจากสนามแม่เหล็กโดยตรง

จากการทดลองสามารถยืนยันได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเป็นแบบเชิงเส้นตามหลักการของ Ratiometric Linear Hall Effect และสอดคล้องกับข้อมูลทางทฤษฎีที่ได้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ การทดลองนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจผลของการใช้วัสดุป้องกันสนามแม่เหล็ก การแปลงสัญญาณเอาต์พุตให้สัมพันธ์กับอินพุต รวมถึงหลักการของ Magnetic Flux Density ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยรวมแล้ว ผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจเชิงลึกต่อหลักการทำงานของ Magnetic Sensor

ข้อเสนอแนะ

- มีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวนในการทดลอง รวมถึงวัสดุที่สามารถเหนี่ยวนำไฟฟ้าได้มารบกวน
- หาวิธีลดสัญญาณรบกวนจากภายนอกให้ดีกว่านี้

อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

<https://scma.co.th/blog/post/magnetic-sensors>

[DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet \(Rev. B\)](#)

Lab 1.4 Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

การทดลองที่ 1.4 Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Load Cell**
เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของ Load Cell ที่ใช้หลักการของ Strain Gauge และวงจร Wheatstone Bridge อธิบายการทำงานของวงจรขยายสัญญาณแบบ Op-amp Differential Amplifier ที่ใช้ในระบบวัดแรงได้
- เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับสัญญาณ Output ของ Load Cell**
สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อ Load Cell และผลต่อแรงดันเอาต์พุตที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรง (Input) กับสัญญาณไฟฟ้า (Output)
- เพื่อเข้าใจการปรับแต่งและสอบเทียบสัญญาณ (Signal Conditioning และ Calibration)**
ทำความเข้าใจขั้นตอนการปรับเทียบสัญญาณให้ได้ค่าที่ถูกต้องและเชื่อถือได้
ปรับสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์รับข้อมูล (Data Acquisition)
- เพื่อศึกษาการเกิด Saturation ของวงจรขยายสัญญาณ**
เข้าใจสาเหตุของการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation) และวิธีหลีกเลี่ยง
- เพื่อฝึกการเปรียบเทียบผลระหว่างสัญญาณ Analog และ Digital**
วัดและแปลงสัญญาณจาก Load Cell ด้วยระบบดิจิทัลเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการวัดแบบ Analog และ Digital
- เพื่อคำนวณค่าทางฟิสิกส์จากสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ในหน่วย SI**
แปลงสัญญาณ Output ให้เป็นค่าทางแรง (Force) หรือมวล (Mass) ได้ในหน่วยมาตรฐาน
แสดงผลแบบ Real-Time พร้อมการคำนวณหน่วยอนุพันธ์ SI ที่เกี่ยวข้อง
- เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง**
หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์และสัมพัทธ์วิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อน
- เพื่อแสดงทักษะการเก็บข้อมูลและการสรุปผลเชิงวิเคราะห์**
บันทึกค่าการทดลองอย่างเป็นระบบสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างแรงและแรงดันรวมถึงเสนอแนวทางปรับปรุง
- เพื่อเชื่อมโยงหลักการทางทฤษฎีกับการทดลองจริง**
อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากผลการทดลองโดยอ้างอิงหลักการทางฟิสิกส์และอิเล็กทรอนิกส์
วิเคราะห์การทำงานของระบบวัดแรงเชิงวิศวกรรมอย่างครบวงจร

10. เพื่อคำนวณและปรับค่าการขยาย (Gain) ของวงจรขยายสัญญาณได้อย่างเหมาะสม

สามารถหาค่าการขยายของวงจร (Gain) ได้จากอัตราส่วนของสัญญาณขาเข้าและขาออก

วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนค่า Gain ต่อความแม่นยำของการวัด

สมมติฐาน

ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อ load cell

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น:
 - น้ำหนักที่กระทำต่อ load cell
- ตัวแปรตาม:
 - แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของ Load Cell หลังผ่านวงจรขยาย INA125
- ตัวแปรควบคุม:
 - แรงดันจ่ายให้ Load Cell และ INA125 คงที่ 3.3 v
 - อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง
 - จุดติดตั้งและการวาง Load Cell ให้ได้แนวราบ 180 องศา
 - ค่า Gain ของ INA125 ที่เหมาะสม

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Load Cell

Load cell ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณแรงหรือเซ็นเซอร์แรงที่แปลงแรงที่กระทำ

ไม่ว่าจะเป็นแรงดึง แรงกด หรือแรงกด ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าขนาดของสัญญาณไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของแรงที่กระทำต่อโหลดเซลล์ Strain Gauge Load Cell ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นโหลดเซลล์ประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด โหลดเซลล์ประเภทนี้ประกอบด้วยตัวโลหะแข็ง หรือที่เรียกว่า "สปริงอิลิเมนต์" ที่มี **Strain Gauge** ยึดติดอย่างแน่นหนา เมื่อมีแรงกระทำต่อโหลดเซลล์ สปริงอิลิเมนต์จะเกิดการเสียรูปเล็กน้อย ซึ่งจะติดกลับออกมาอย่างรวดเร็วเนื่องจากคุณสมบัติความยืดหยุ่น เมื่อรูปร่างของสปริงเปลี่ยนแปลงไป รูปร่างของสเตรนเกจที่ติดอยู่กับสปริงก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น ความต้านทานไฟฟ้าของสเตรนเกจจึงเพิ่มขึ้นหรือลดลง การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านสเตรนเกจจะสะท้อนความแปรผันของความต้านทานไปยังแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

ขาออกนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่ป้อน จึงสามารถคำนวณน้ำหนักของวัตถุได้จากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่สังเกตได้ เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นส่วนสปริงจะโค้งงอโดยมีการเสียรูปถาวรน้อยที่สุด จึง

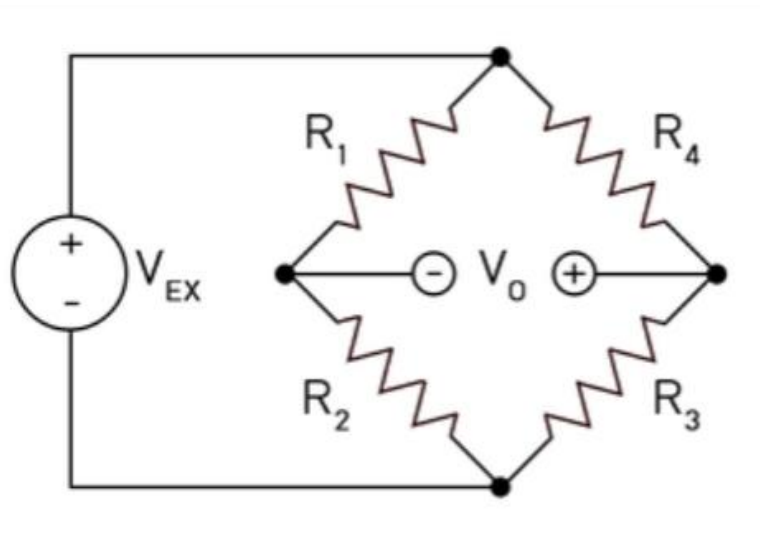
ต้องควบคุมการโก่งงอให้น้อยที่สุด การคำนวณที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเพียงเล็กน้อยของ

เกจวัดความเครียดเพียงตัวเดียวอาจขาดความแม่นยำและอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ เพื่อชดเชยสิ่งนี้และเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูงในการวัดโหลดเซลล์ จึงมีการใช้เกจวัดความเครียดหลายตัว เกจวัดความเครียดเหล่านี้ถูกจัดเรียงใน

รูปแบบ Wheatstone Bridge ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้านทานโดยรวมของเกจวัดความเครียดทั้งสี่ตัวสามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของโอห์มและสมการที่เหมาะสม

Wheatstone Bridge

เป็นการกำหนดค่าของตัวต้านทานแบบสมดุลสี่ตัวที่มีแรงดันการกระตุ้นที่ทราบ



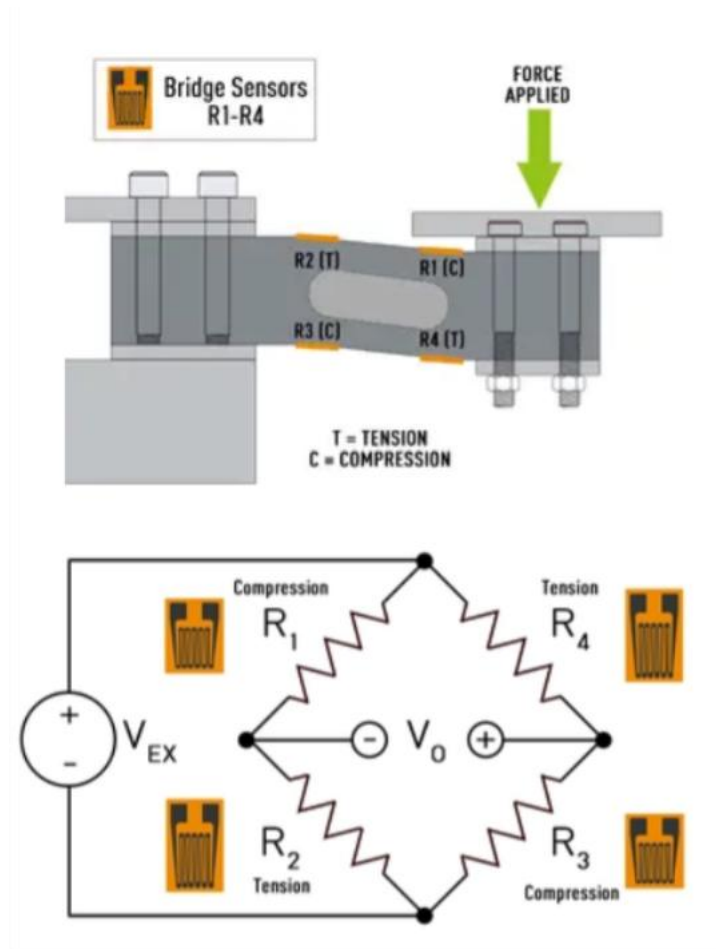
รูปที่ Wheatstone Bridge

V_{EX} เป็นค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าที่ทราบค่า และ V_0 จะถูกวัด หากตัวต้านทานทั้งหมดสมดุลกัน หมายความว่า $R_1 / R_2 = R_4 / R_3$ แล้ว V_0 จะเป็นศูนย์ หากค่าของตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลง V_0 จะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถวัดและตีความได้โดยใช้กฎของโอห์ม กฎของโอห์มระบุว่ากระแส (I , วัดเป็นแอมแปร์) ที่ไหลผ่านตัวนำระหว่างสองจุดจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ตกคร่อมสองจุดนั้น ความต้านทาน (R , วัดเป็นโอห์ม) จะถูกนำเสนอเป็นค่าคงที่ในความสัมพันธ์นี้ โดยไม่ขึ้นกับกระแส กฎของโอห์มแสดงอยู่ในสมการ $I = V/R$

เมื่อนำไปใช้กับขา 4 ขาของวงจรสะพานวีทสโตน สมการที่ได้คือ:

$$V_{out} = \left[\frac{R_3}{R_3 - R_4} - \frac{R_2}{R_1 - R_2} \right] \times V_{EX}$$

ในโหนดเซลล์ ตัวต้านทานเหล่านี้จะถูกแทนที่ด้วยสเตรนเกจในการวัดแรงดึงและแรงอัดแบบสลับกัน เมื่อแรงถูกกระทำกับโหนดเซลล์ ความต้านทานในสเตรนเกจแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงไปและค่า V_{out2} จะถูกวัด จากข้อมูลที่ได้ สามารถหาค่า V_{out2} ได้อย่างง่ายดายโดยใช้สมการข้างต้น



รูปที่ วงจรสะพานวีทสโตน

ประเภทของโหนดเซลล์

- โหนดเซลล์แบบสเตรนเกจ ใช้สเตรนเกจในการวัดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง

- โหลดเซลล์แบบเพียโซอิเล็กทริก: ใช้คุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าเมื่อมีแรงมากระทำ
- โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก: ใช้การเปลี่ยนแปลงของความดันในของเหลวในการวัดแรง
- โหลดเซลล์แบบนิวแมติก: ใช้การเปลี่ยนแปลงของความดันในอากาศในการวัดแรง

Calibration

โดยปกติแล้วจะใช้สูตรง่ายๆ ในการแปลงค่า mv/V ที่วัดได้จากโหลดเซลล์เป็นแรงที่วัดได้ ดังนี้

แรงที่วัดได้ = $A \times \text{mv/V ที่วัดได้} + B (\text{offset})$ สิ่งสำคัญคือต้องกำหนดหน่วยของแรงที่วัดได้ เช่น กรัม กิโลกรัม ปอนด์ เป็นต้น โหลดเซลล์นี้มีค่าเอาต์พุตที่กำหนดที่ $1.0 \pm 0.15 \text{ mv/v}$ ซึ่งสอดคล้องกับความจุของเซ็นเซอร์ที่ 10 กิโลกรัม

ในการคำนวณหาค่า A เราใช้

$$Capacity = A \times \text{Rated Output}$$

$$A = \text{Capacity} / \text{Rated Output}$$

เนื่องจากค่าชดเชยค่อนข้างผันแปรระหว่างโหลดเซลล์แต่ละตัว จึงจำเป็นต้องคำนวณค่า offset สำหรับเซ็นเซอร์แต่ละตัว วัดค่าเอาต์พุตของโหลดเซลล์ที่ไม่มีแรงกระทำ และบันทึกค่าเอาต์พุต mv/V ที่วัดได้จาก PhidgetBridge

$$Offset = 0 - 5 \times \text{Measured Output}$$

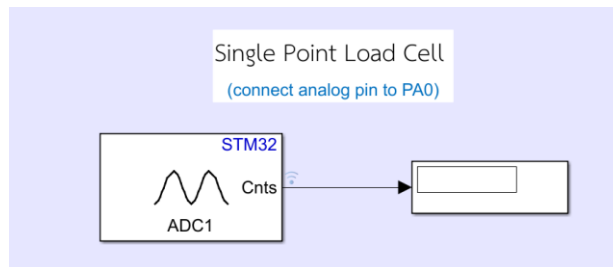
ขั้นตอนการดำเนินงาน

5. ทำการวัดตั้งแต่มวล 0 – 10 กก. โดยใช้ถุงทรายที่มีมวล 0.5 กก. ทั้งหมด 20 ถุง เริ่มต้นที่ 0 กก. แล้วค่อยๆ เพิ่มถุงทรายทีละ 0.5 กก. ทำการบันทึกค่ามวลที่วัดได้
6. หาค่า Gain ของ Single Point Load Cell YZC-131A จากสมการหาค่า Gain นำมวล 10 กก. มาวางไว้บน Single Point Load Cell YZC-131A แล้วทำการหาค่า Gain จากการวัด แรงดันระหว่าง V_{in+} และ $V_{in-} = 0.005$ โวลต์ และนำมาหารค่า $V_o = 2.5$ โวลต์ จึงได้ค่า Gain = 508 หาค่าตัวต้านทานของ Trimpot จากสมการหาค่า นำค่า Gain R_g ที่ได้คำนวณออกมา มาหาสูตรการหา
7. ค่า R_g จะได้ค่า $R_g = 119.0476$ โอห์ม ต่อมาจึงทำการปรับค่า Trimpot ให้ได้ความต้านทานเท่ากับที่คำนวณออกมาตามสูตร

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

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

8. รับค่าสัญญาณจาก Single Point Load Cell YZC-131A เช้าสู่บอร์ด Nucleo STM32G474RE และใช้บล็อก “Analog to Digital Converter (ADC)” สำหรับการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital



รูปที่ ADC Block

9. นำค่าที่ได้มาแปลงเป็น Vout บอร์ด Nucleo STM32G474RE รับค่าสัญญาณได้ 12 - bit (จาก $2^{12} = 4096$) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 - 4095 เราจึงต้องทำการหารด้วย 4096 หาร เพื่อให้ค่าสัญญาณของเราอยู่ในช่วง 0 - 1 โดยเป็นผลลัพธ์สัดส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากสัญญาณ Analog เมื่อเราได้ค่าสัญญาณที่อยู่ในช่วง 0 - 1 ที่เป็นผลลัพธ์สัดส่วน และคูณค่า 3.3 เพื่อให้ค่าสัญญาณที่ได้อยู่ในสัดส่วน 0 - 3.3 ซึ่ง 3.3 คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ จึงได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับแรง ที่กระทำต่อ Single Point Load Cell YZC-131A
10. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงที่อยู่ในช่วง 0 - 3.3 มาคำนวณต่อ ซึ่ง INA125 Instrumentation Amplifier สามารถส่งแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 1.9 โวลต์ตามค่าที่วัดมาจากการชั่งมวล 10 กก. ซึ่งเป็นน้ำหนักที่มากที่สุดที่ Single Point Load Cell YZC-131A สามารถรับได้ ต่อมาเราจึงคูณ 4 เพื่อให้ค่าที่อ่านได้อยู่ ในช่วง 0 - 10 ซึ่งตรงกับค่าน้ำหนักที่สามารถชั่งได้ตั้งแต่ 0 - 10 กก.
11. นำข้อมูลที่ได้อ่านมา plot กราฟ ระหว่างคามวลถ่วงหยาบจริงกับค่าที่วัดได้จาก Single Point Load Cell YZC-131A

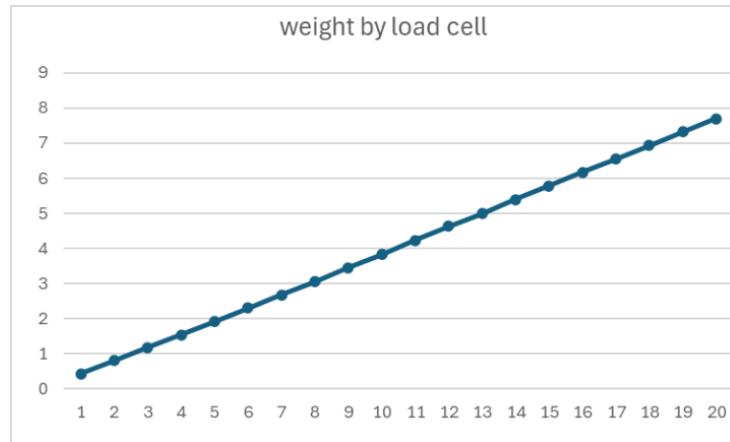
ผลการทดลอง

ทำการหาคาเฉลี่ยของข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ

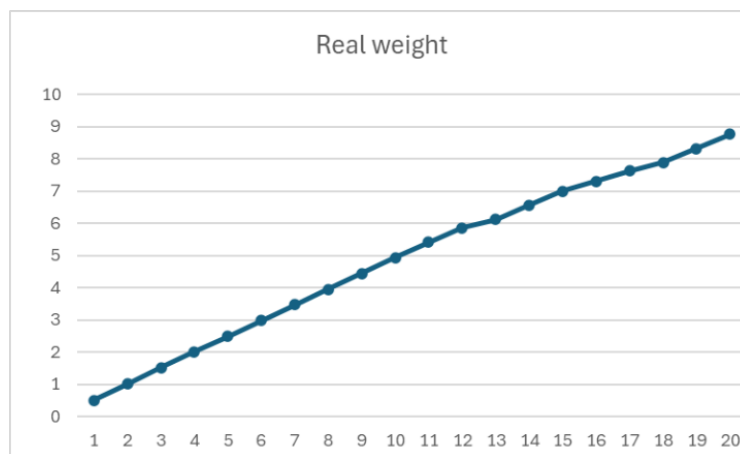
| จำนวนถ่วง | น้ำหนักที่ควรจะเป็น(kg) | น้ำหนักจากเครื่องชั่ง(kg) | น้ำหนักจาก load cell(kg) |
|-----------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.5 | 0.5098 | 0.433231 |

| | | | |
|----|-----|--------|----------|
| 2 | 1 | 1.0098 | 0.809729 |
| 3 | 1.5 | 1.5154 | 1.177201 |
| 4 | 2 | 2.0058 | 1.545319 |
| 5 | 2.5 | 2.491 | 1.914081 |
| 6 | 3 | 2.9868 | 2.302183 |
| 7 | 3.5 | 3.4692 | 2.678037 |
| 8 | 4 | 3.9548 | 3.059692 |
| 9 | 4.5 | 4.4508 | 3.460689 |
| 10 | 5 | 4.9428 | 3.834608 |
| 11 | 5.5 | 5.4212 | 4.227868 |
| 12 | 6 | 5.8596 | 4.628864 |
| 13 | 6.5 | 6.1226 | 4.996337 |
| 14 | 7 | 6.5718 | 5.396689 |
| 15 | 7.5 | 7.0098 | 5.782212 |
| 16 | 8 | 7.3142 | 6.170315 |
| 17 | 8.5 | 7.6328 | 6.550037 |
| 18 | 9 | 7.9014 | 6.939429 |
| 19 | 9.5 | 8.3278 | 7.321729 |
| 20 | 10 | 8.7794 | 7.698227 |

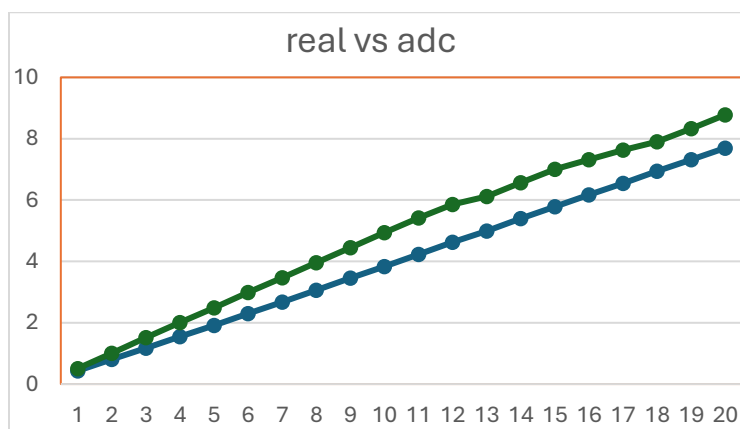
ตารางที่ แสดงค่าวัดได้



รูปที่ น้ำหนักที่วัดได้เทียบกับจำนวนถุง



รูปที่...น้ำหนักจริงเทียบกับจำนวนถุง



รูปที่...แนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้เทียบกับน้ำหนักจริง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อมีแรงกระทำต่อ Single Point Load Cell รุ่น YZC-131A ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากสัญญาณ Output ของ Load Cell มีการเปลี่ยนแปลงตามแรงที่กระทำในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทำงานของ วงจร Wheatstone Bridge ที่ใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ Strain Gauge เมื่อวัสดุเกิดการยืดหรือหดตัว การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้ถูกส่งผ่านเข้าสู่กระบวนการ Signal Conditioning เพื่อทำการขยายและปรับสัญญาณให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปประมวลผลได้อย่างแม่นยำจากนั้นทำการ Calibration เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับมวลของน้ำหนักจริง ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อยและมีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น แสดงให้เห็นว่า Gain และสัญญาณขาออกสัมพันธ์กับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การทดลองยังแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในหลักการของ Load Cell และความสามารถในการอ่านค่าผลลัพธ์ที่แปลงเข้าสู่ระบบ Digital ได้อย่างถูกต้อง สรุปผลการทดลองโดยรวมเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้และสามารถอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องได้อย่างครบถ้วน แสดงถึงความเข้าใจทั้งด้านทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานของตัว Sensor Single Point Load Cell รุ่น YZC-131A

อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Load Cell มีการเปลี่ยนแปลงตามแรงที่กระทำ ซึ่งเป็นไปตามหลักการทำงานของ **Strain Gauge** ในวงจร **Wheatstone Bridge** ที่เมื่อมีแรงกดหรือแรงดึงมากระทำต่อ Load Cell ค่าความต้านทานของ Strain Gauge จะเปลี่ยนไปทำให้แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรไม่สมดุลและเกิดสัญญาณ Output ที่มีค่าแปรผันตามแรงนั้น เมื่อสัญญาณดังกล่าวถูกส่งเข้าสู่วงจร INA125 Instrumentation Amplifier เพื่อขยายความต่างศักย์ที่ออกจาก Load Cell ให้มีขนาดมากพอที่จะอ่านได้อย่างแม่นยำพบว่าสัญญาณมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับแรงที่กระทำ โดยค่าของ **Gain** ที่ตั้งไว้ส่งผลต่อความไวของระบบ

ซึ่งต้องทำการปรับค่าผ่านกระบวนการ **Calibration** เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนในการวัด อย่างไรก็ตาม จากการทดลองอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น การวางน้ำหนักไม่ตรงตำแหน่งศูนย์กลางของ Load Cell สัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิหรือการสั่นสะเทือนของพื้นโต๊ะทดลองความไม่เสถียรของแรงดันไฟเลี้ยงวงจรหรือค่าความต้านทานภายใน Load Cell เองการทำ **Signal Conditioning** ช่วยขยายสัญญาณรบกวนบางส่วน ทำให้สามารถอ่านค่าแรงดันได้ชัดเจนขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีแล้วผลที่ได้จากการทดลองอยู่ในแนวโน้มเดียวกันแสดงให้เห็นว่าระบบ Load Cell ที่ออกแบบมีความถูกต้องตามหลักการฟิสิกส์และอิเล็กทรอนิกส์ ในภาพรวม การทดลองนี้ทำให้ผู้ทดลองเข้าใจหลักการทำงานของ Load Cell อย่างครบถ้วน ตั้งแต่โครงสร้างภายในของ Strain Gauge การทำงานของวงจร Wheatstone Bridge การขยายสัญญาณด้วย Op-amp ไปจนถึงการ

ประมวลผลสัญญาณในรูปแบบ **Digital Output** และในส่วนของการ Saturation ไม่เกิดขึ้นเพราะน้ำหนักที่ Load Cell รับได้มากที่สุดคือ 10 kg. แต่ในการทดลองเมื่อทดลองจริงมวลที่นำมาทดลองมีค่าไม่ถึงค่าสูงสุดที่ Load Cell วัดได้จึงไม่เกินค่า Saturation ที่ 10 kg.

ข้อเสนอแนะ

- เกิดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยนอกเหนือการทดลองเยอะเกินไปควรควบคุมแต่ละปัจจัยให้เสถียรมากกว่านี้

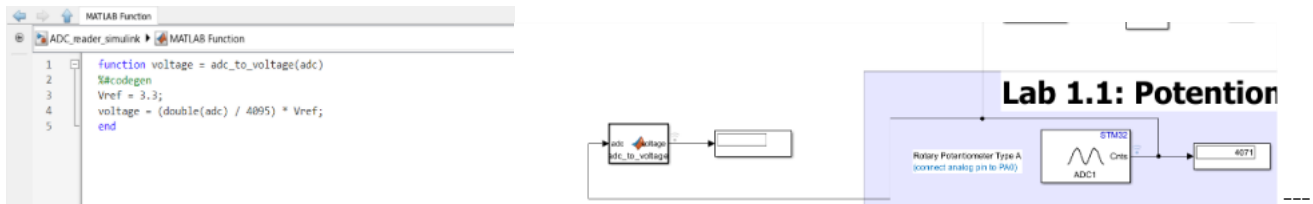
อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

<https://mall.factomart.com/wp-content/uploads/2018/06/Load-cell-manual.pdf>

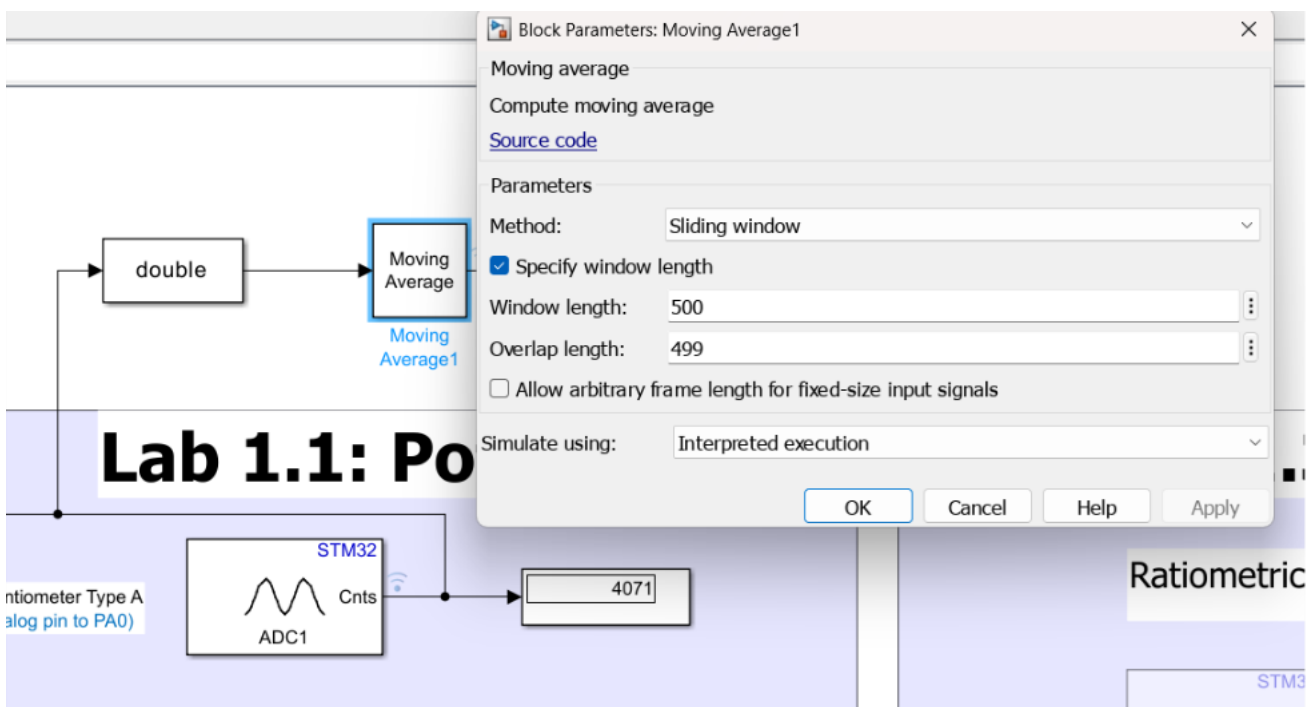
<https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/load-cells-guide>

<https://www.electronicoscaldas.com>

ภาคผนวก ก.



ใช้ Matlab Function เพื่อแปลงค่า ADC เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ออกมา



- ใช้ double Block เพื่อใช้ในการคำนวณค่าง่าย
- ใช้ Moving Average เพื่อกรองค่าให้มี noise น้อยที่สุด

Stop Time: inf Run with IO Data Inspector Logic Analyzer

RUN ON COMPUTER REVIEW RESULTS

Block Parameters: Relay

Relay

Output the specified 'on' or 'off' value by comparing the input to the specified thresholds. The on/off state of the relay is not affected by input between the upper and lower limits.

Main Signal Attributes

Switch on point: 2000

Switch off point: 1000

Output when on: 500

Output when off: 0

Input processing: Elements as channels (sample based)

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

Lab 1.1: Potentiometer

STM32

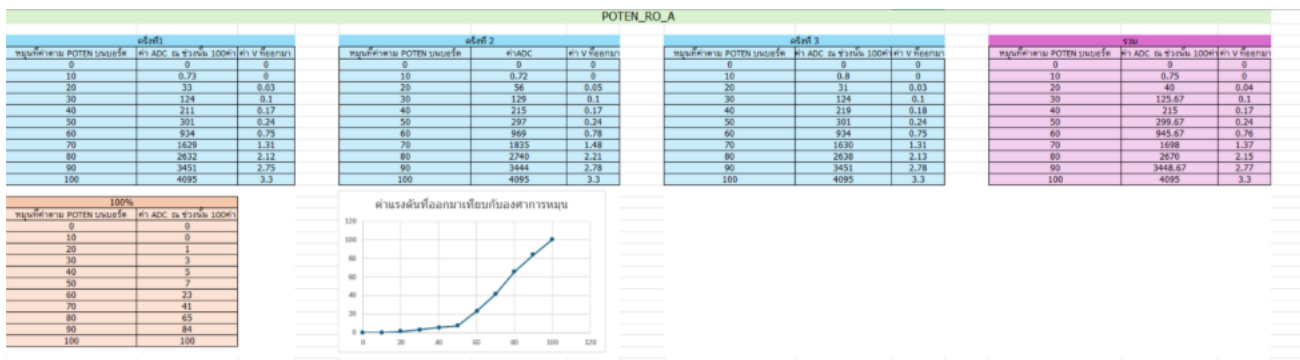
Potentiometer Type A
Connect analog pin to PA0

ADC1

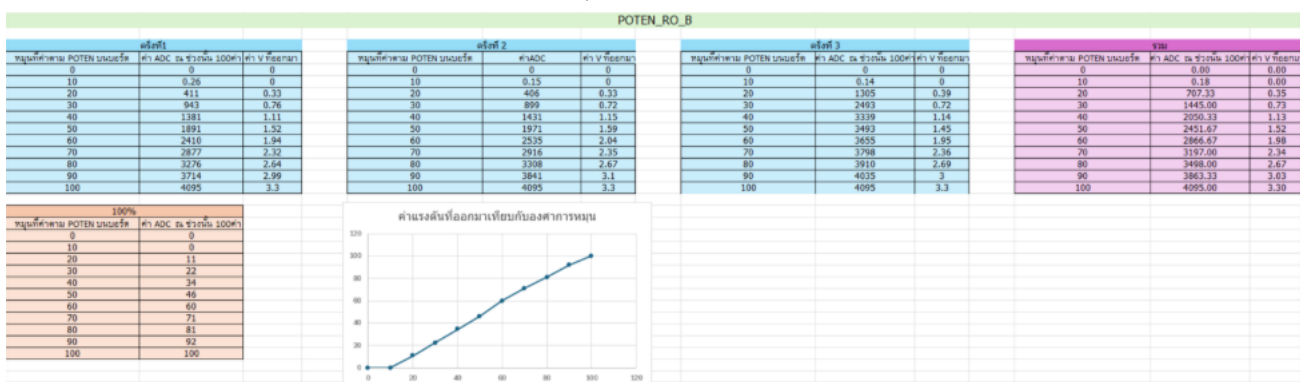
Cnts

4071

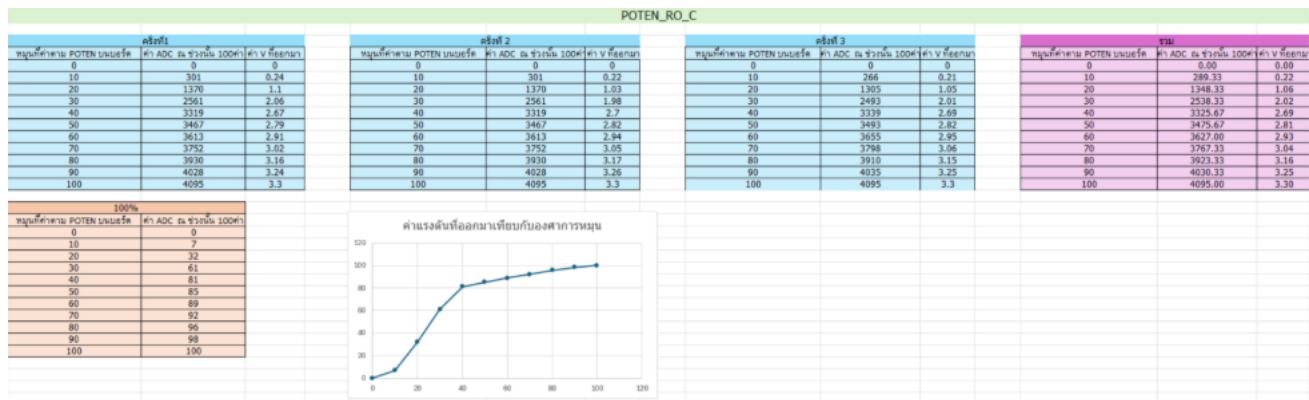
- ใช้ Relay เพื่อกำหนดค่า Upper Threshold กับ Low Threshold



- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Rotation Type A



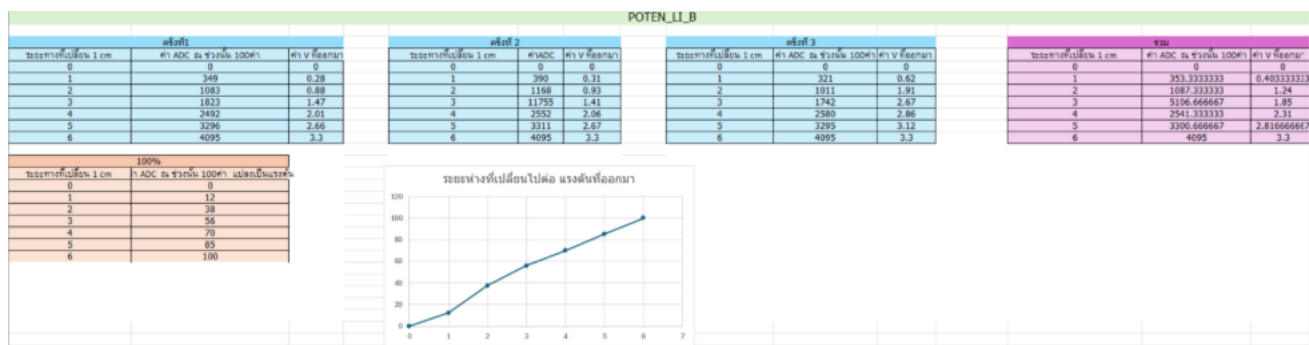
- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Rotation Type B



- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Rotation Type C



- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Linear Type A



- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Linear Type B

- ค่าที่ได้จาก Potentiometer Rotation Type A

Connected IO Hardware Settings Log Signals Add Viewer Stop Time inf Run with IO Data Inspector Logic Analyzer

MODE PREPARE RUN ON COMPUTER REVIEW RESULTS

Lab 1.3: Magnetic Sensor

Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

(connect analog pin to PA0)

Block Parameters: Moving Average

Moving average

Compute moving average

[Source code](#)

Parameters

Method: Sliding window

☒ Specify window length

Window length: 500

Overlap length: 499

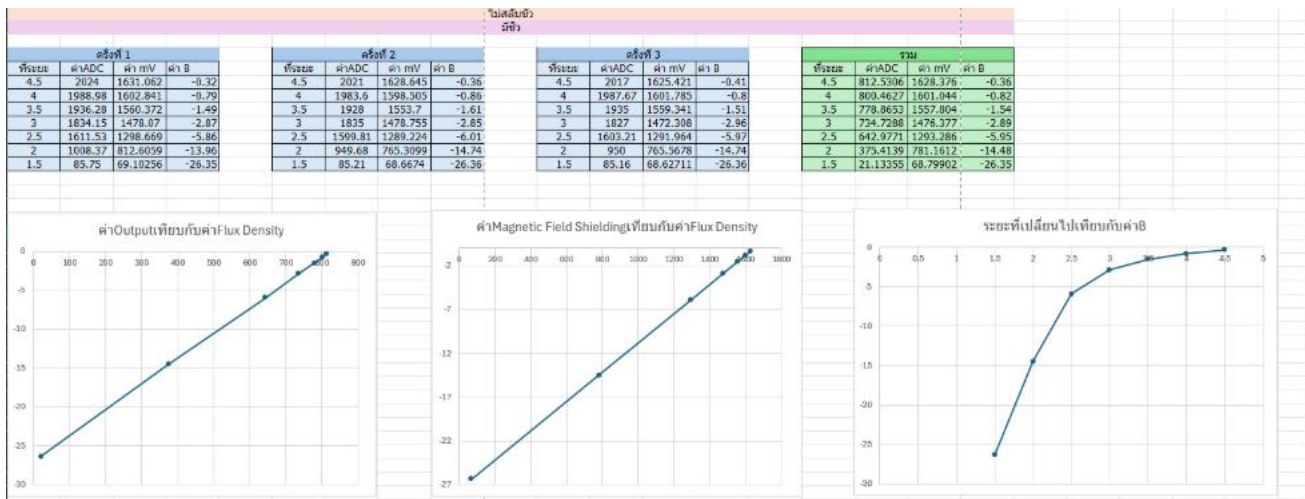
☐ Allow arbitrary frame length for fixed-size input signals

Simulate using: Interpreted execution

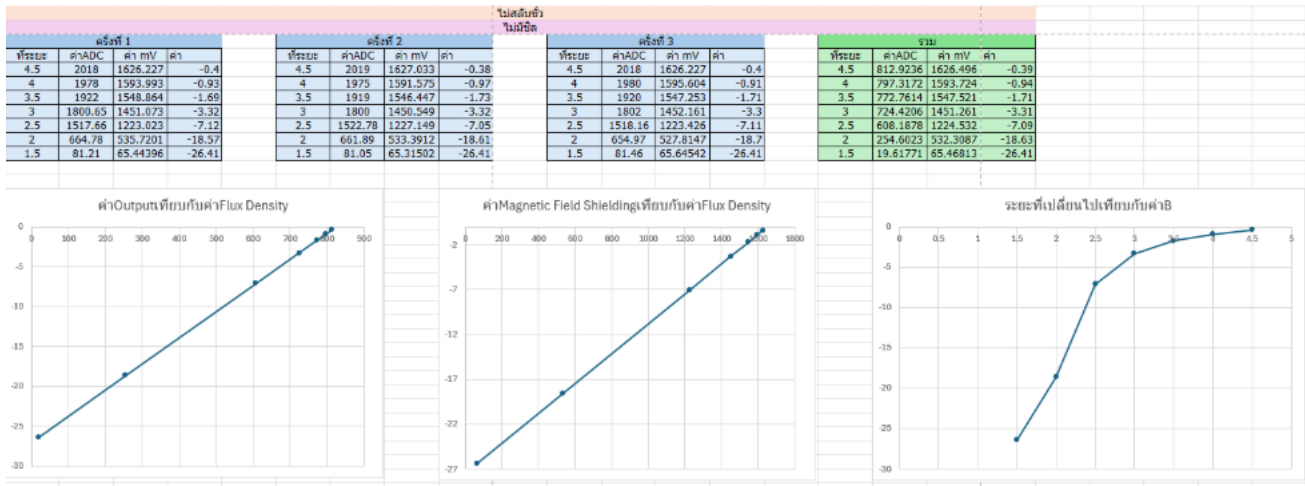
OK Cancel Help App

Lab 1.4: Single Point Load

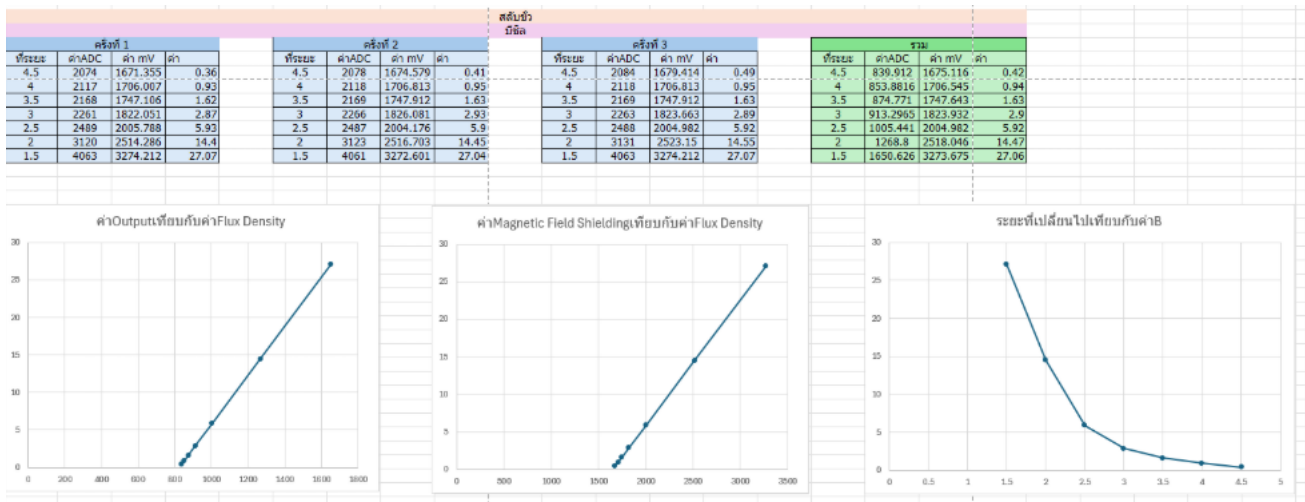
- ใช้ double Block เพื่อใช้ในการคำนวณค่าง่าย
- ใช้ Moving Average เพื่กรองค่าให้มี noise น้อยที่สุด



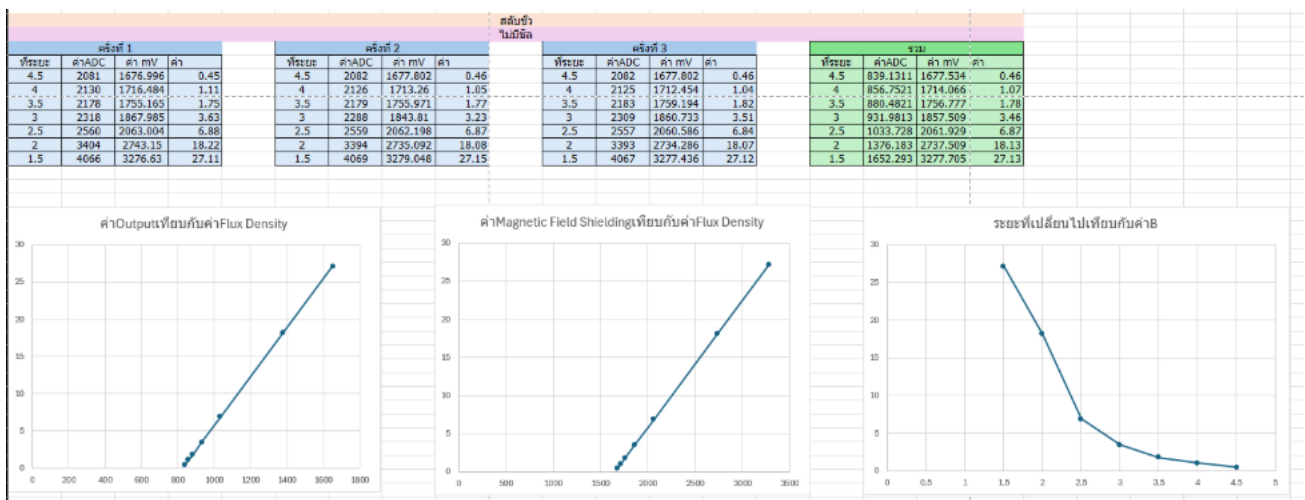
- ค่าที่ได้จาก Magnetic Sensor ขั้วเหนือ แบบมี Shield



- ค่าที่ได้จาก Magnetic Sensor ขั้วเหนือ แบบไม่มีShield



- ค่าที่ได้จาก Magnetic Sensor ขั้วใต้ แบบมีShield



- ค่าที่ได้จาก Magnetic Sensor ขั้วใต้ แบบไม่มีShield