

# *RMXplorer*

LAB1 : Sensor

Name

นางสาวลอร์ดั้น	ชั้นเรื่อง	66340500070
นายราชนพัท	กิจกิจกรรม	66340500071
นายปวิศ	ตั้งตระกูล	66340500074

Objective

- เพื่อออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ และ อุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทำงานวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
- เพื่ออธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดดังแต่ต้นจนจบกระบวนการ ได้ เช่น การอธิบายหลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบายการวัดน้ำหนักของ Load Cell (จากแรงดันไฟฟ้าแปลงเป็นน้ำหนักได้อย่างไร)
- เพื่อกำหนด ตัวแปรในการทดลอง ได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรตัน ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์ หรือข้อมูลจาก Datasheet
- เพื่อออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้อยู่ทั้งหมดได้ด้วยตนเองอย่างถูกต้อง ตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้ง บันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มีกระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลอง พร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- เพื่อเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

สารบัญ

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

## การทดลองที่ 1 Potentiometer

### 1.1 จุดประสงค์

1.1.1 เพื่อสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Potentiometer และการตอบสนองทางแรงดันไฟฟ้า

### 1.2 สมมติฐาน

1.2.1 การหมุนของ Potentiometer

จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าข้าอกโดยเมื่อมุกการหมุนของ Potentiometer เพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าข้าอกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามทิศทางการหมุนและตำแหน่งของตัวปรับค่าในวงจร Potentiometer

1.2.2 แรงดันไฟฟ้าข้าอกของ Potentiometer จะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งการหมุน โดยลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการหมุนและแรงดันไฟฟ้าข้าอกจะมีความเป็นเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น ขึ้นอยู่กับประเภทของ Potentiometer (เช่น Linear หรือ Logarithmic) และแรงดันไฟฟ้าข้าเข้าที่กำหนด

### 1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

1.3.1 ตัวแปรต้น : ระยะการหมุน potentiometer

1.3.2 ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้า

1.3.3 ตัวแปรควบคุม : ระยะที่หมุน หรือ ขบวน potentiometer ในแต่ละครั้ง

### 1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 STM32 หมายถึง Nucleo STM32G474RE

### 1.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

1.5.1 Potentiometer A หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPA103

1.5.2 Potentiometer B หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103B

1.5.3 Potentiometer C หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103C

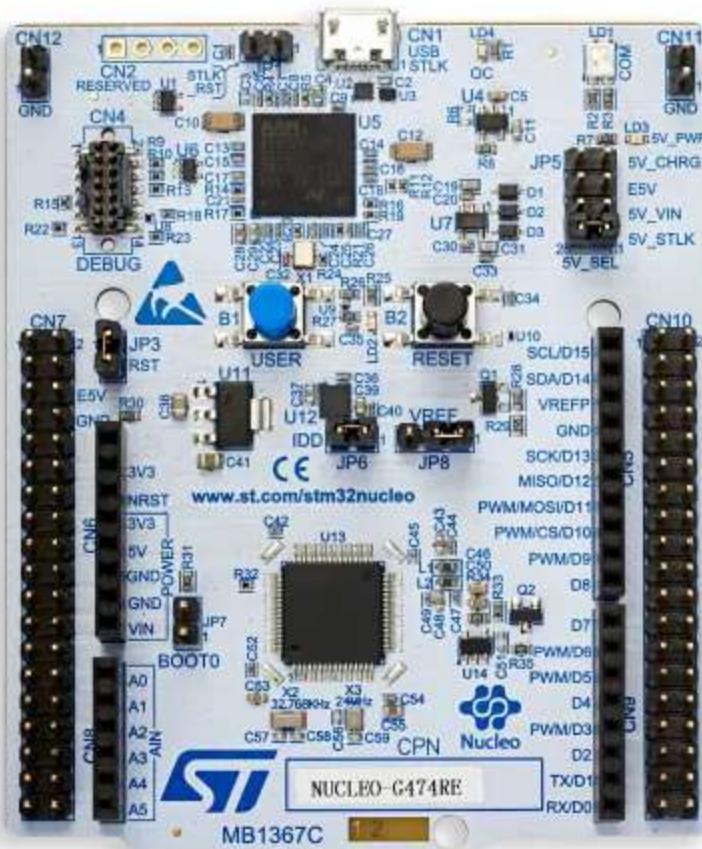
1.5.4 Potentiometer LA หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103A2

### 1.5.5 Potentiometer LB หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPB103

## 1.6 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.6.1 Nucleo STM32G474RE

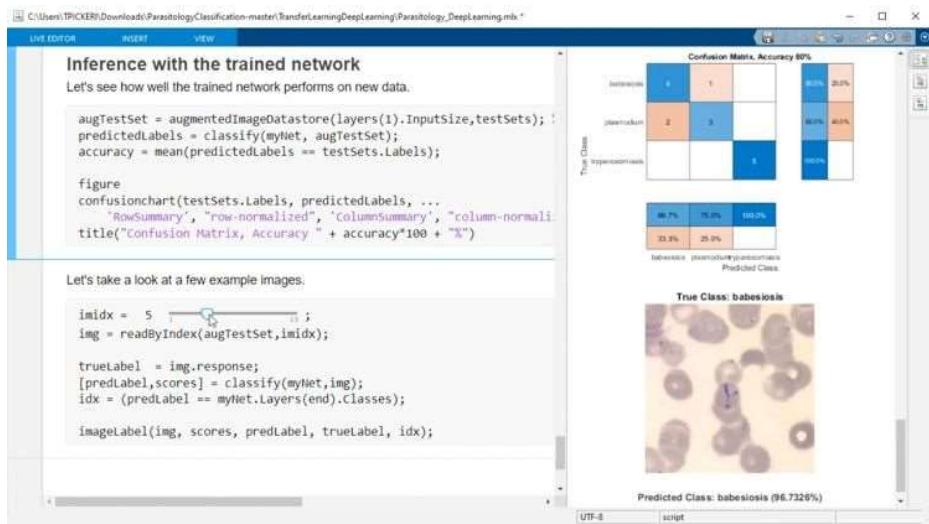
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ซึ่งสามารถในการควบคุมสัญญาณแบบอะนาล็อกและดิจิทัล และรองรับการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ ทำให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



รูปที่ 1 Nucleo STM32G474RE

### 1.6.2 MATLAB

คือโปรแกรมซอฟต์แวร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข การประมวลผลข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2 โปรแกรม MATLAB

### 1.6.3 Simulink

เป็นเครื่องมือเสริมของ MATLAB ซึ่งใช้สำหรับการสร้างและจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมและระบบพลศาสตร์ผ่าน การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming) โดยผู้ใช้สามารถสร้างแพนเพจบล็อกๆ ได้ตามแก้วยเพื่อจำลองระบบที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย เช่น ระบบควบคุม, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า, และระบบไฮบริดต่าง ๆ



รูปที่ 3 Simulink

Potentiometer คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับความต้านทานในวงจรไฟฟ้า มีลักษณะเป็นตัวต้านทานที่มีสามขา แรกและขาสุดท้ายเชื่อมต่อกันแหล่งจ่ายไฟฟ้า ส่วนขากลางจะใช้เป็นตัวปรับแรงดัน หรือตัวควบคุมค่าความ

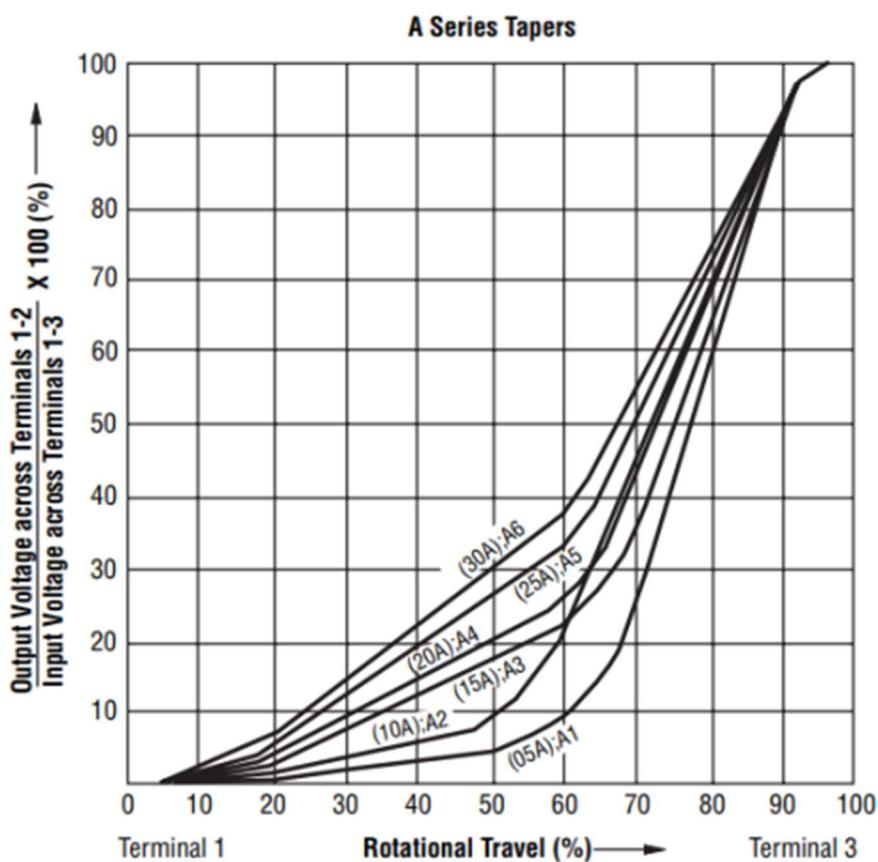
ต้านทานโดยการหมุน หรือเลื่อนปีกของ potentiometer จะเปลี่ยนตำแหน่งของขากร่างทำให้ค่าแรงดันที่ออกของกลางแตกต่างกันไป

#### Type of potentiometer

- Linear Potentiometer : มีค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่ลูกบิด หรือสไลด์เลื่อนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดซึ่งหมายความว่ารับการควบคุมที่ต้องการความแม่นยำ
- Rotary Potentiometer: การหมุนเพื่อปรับค่า มีรูปแบบให้เลือกหลากหลาย เช่น แบบสองขา(สองทาง) และแบบสามขา(ใช้เป็นตัวแบ่งแรงดัน)
- Digital Potentiometer: ใช้การควบคุมจากสัญญาณดิจิตัล สามารถปรับค่าได้ด้วยการสื่อสารผ่านโปรโตคอล เช่น I2C หรือ SPI
- Trimming Potentiometer (Trimpot): ขนาดเล็กใช้ในการปรับค่าที่ต้องการความแม่นยำสูงในวงจรโดยทั่วไปจะถูกปรับเพียงครั้งเดียวในกระบวนการผลิต
- Slide Potentiometer: ใช้การเลื่อนเพื่อปรับค่า มีลักษณะคล้ายกับ slider และมักใช้ในอุปกรณ์เสียงเช่น มิกเซอร์
- Tapered Potentiometer : มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแบบเจียง (Linear หรือ logarithmic) ซึ่งมีผลต่อการควบคุมระดับเสียงในอุปกรณ์เสียง
- Bourns Potentiometer: เป็นแบรนด์ที่มีชื่อเสียงในด้านคุณภาพ และความหลายของ potentiometer

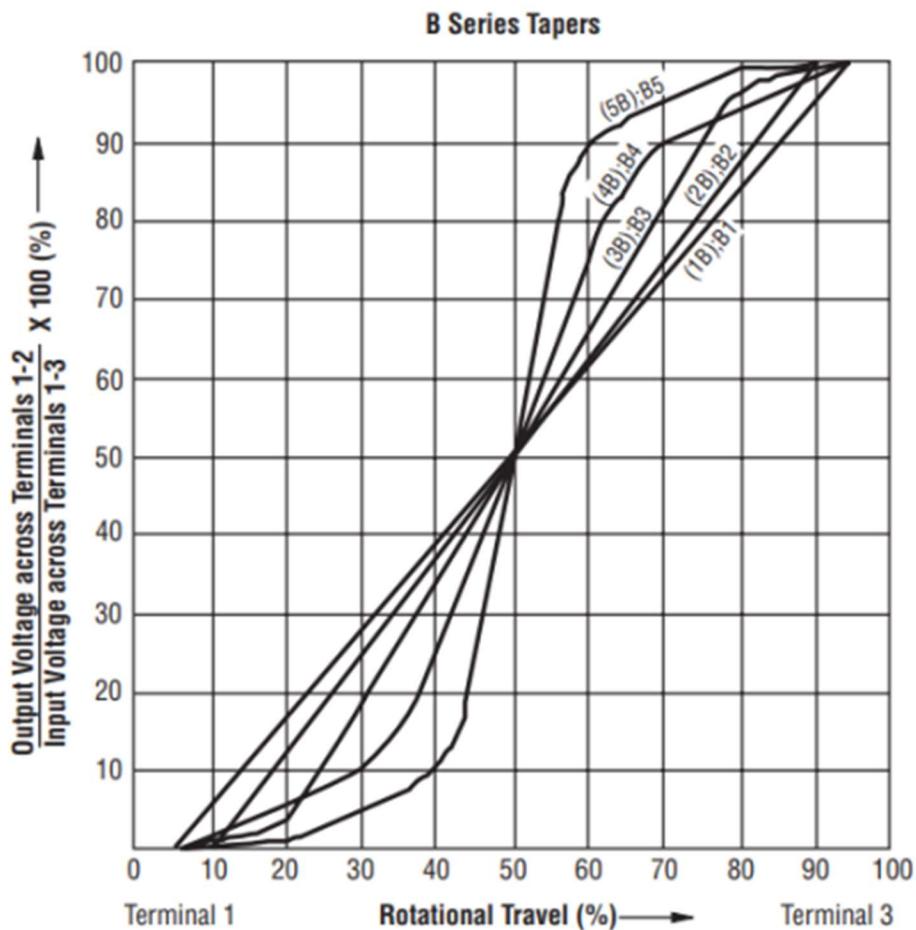
#### Potentiometer characteristic

Potentiometer type A หมายถึง potentiometer ที่มีลักษณะของการปรับค่าที่เป็นแบบ "logarithm" หรือ "เกรดเส็นตรง" ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอย่างไม่เท่ากันตลอดช่วงการหมุน โดยในกรณีของ Type A ค่าแรงดันหรือค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมุน แต่จะลดลงช้าลง ตามที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และองศาการหมุน หรือระดับการเลื่อนของ Potentiometer



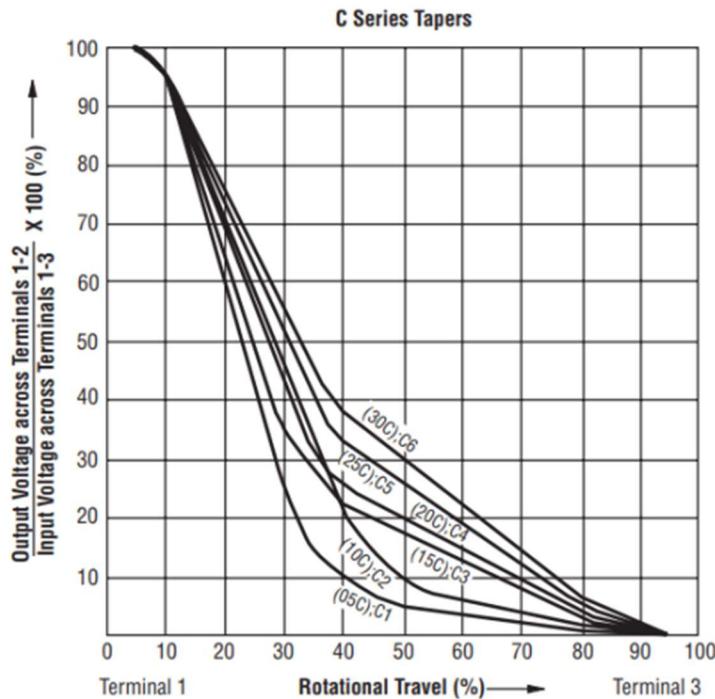
รูปที่ 4

Potentiometer Type B เป็นประเภทของ potentiometer ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่เป็นแบบเส้นตรง หรือ “Linear” ซึ่งมีหมายความว่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงการหมุนของปีก หรือเลื่อน เช่น การหมุนที่เท่ากันจะให้การเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานที่เท่ากันโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของแรงดันไฟฟ้าข้อกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และองค์การหมุน หรือระเบียบการเลื่อนของ Potentiometer



รูปที่ 5

Potentiometer type C หมายถึง potentiometer ที่มีลักษณะของการปรับค่าที่เป็นแบบ “decay logarithm” หรือ “เกรดเส้นตรง” ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอย่างไม่เท่ากันตลอดช่วงการหมุน โดยกรณีของ type C ค่าแรงดัน หรือค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมุน และ จะช้าลงในช่วงหลัง โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของแรงดันไฟฟ้าออกต่อแรงดันไฟฟ้าเข้า และองศาการหมุน หรือระยะการเลื่อนของ potentiometer



รูปที่ 6

Potentiometer computation

$$v_{out}(t) = \frac{R}{R_{Total}} V_{cc} = \frac{d}{d_{Total}} V_{cc} = \frac{\theta}{\theta_{Total}} V_{cc}$$

โดย  $v_{out}(t)$  คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกของ Potentiometer มีหน่วยเป็น (v)

$V_{cc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของ Potentiometer มีหน่วยเป็น (v)

$R$  คือ ความต้านทานของ Potentiometer มีหน่วยเป็น ( $\Omega$ )

$R_{Total}$  คือ ความต้านทานสูงสุดของ Potentiometer มีหน่วยเป็น ( $\Omega$ )

$d$  คือ ระยะเลื่อนของ Potentiometer มีหน่วยเป็น (m)

$d_{Total}$  คือ ระยะเลื่อนสูงสุดของ Potentiometer มีหน่วยเป็น (m)

$\theta$  คือ องศาการหมุนของ Potentiometer มีหน่วยเป็น ( $\theta$ )

$\theta_{Total}$  คือ องศาการหมุนสูงสุดของ Potentiometer มีหน่วยเป็น ( $\theta$ )

## 1.7 วิธีดำเนินการทดลอง

1.7.1 เชื่อมต่อสายบอร์ด Nucleo STM32G474RE

1.7.2 สร้างและออกแบบ Simulink model เพื่อเก็บค่า

1.7.3 แปลงค่าที่ได้และนำไปพล็อทกราฟ

## 1.8 วัสดุอุปกรณ์

1.8.1 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอปป์โหลด จำนวน 1 ชุด

1.8.2 Potentiometer PTA6043-2015DPA103

1.8.3 Potentiometer PTA6043-2015DPB103

1.8.4 Potentiometer PDB181-K420K-103A2

1.8.5 Potentiometer PDB181-K420K-103B

1.8.6 Potentiometer PDB181-K420K-103C

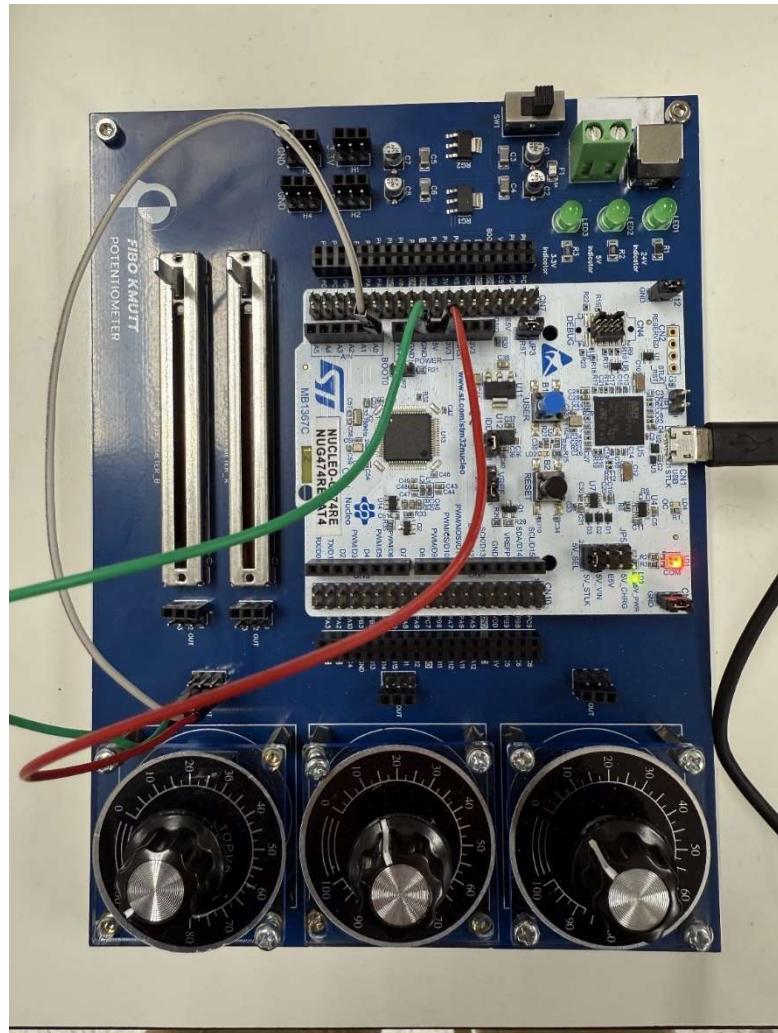
1.8.7 PotenXplorer จำนวน 1 ชุด – ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print, ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์

1.8.8 สายจัมเปอร์

## 1.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.9.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Potentiometer

1.9.2 การเชื่อมต่อบอร์ด:



รูปที่ 7

1.9.2.1 เสียบสาย USB เพื่อเชื่อมต่อบอร์ด Nucleo STM32G474RE เข้ากับคอมพิวเตอร์

1.9.2.2 เชื่อมต่อสาย jumper (1) จากpin 3V3 บนบอร์ดไปยังpin 1 ของ potentiometer

1.9.2.3 เชื่อมต่อสาย jumper (2) จากpin GND บนบอร์ดไปยังpin 3 ของ potentiometer

1.9.2.4 เชื่อมต่อสาย jumper (3) จากpin A0 บนบอร์ดไปยังpin 2 ของ potentiometer

1.9.3 การเปิดโปรแกรม Simulink:

1.9.3.1 เปิดโปรแกรม Simulink

### 1.9.3.2 สร้างโมเดลใหม่

#### 1.9.4 การตั้งค่าโมเดล:

##### 1.9.4.1 ปรับ Fixed Step เป็น 0.01

##### 1.9.4.2 เลือก Hardware Board เป็น Nucleo STM32G474RE

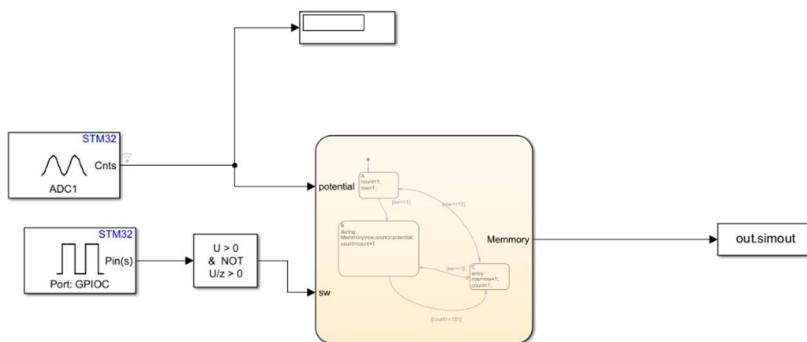
#### 1.9.5 การสร้าง STM32CubeMX Project:

##### 1.9.5.1 ตั้งค่า ADC1 IN1 เป็น Single-ended

##### 1.9.5.2 ปิด Visibility (static)

##### 1.9.5.3 ตั้งค่า Driver Selector เป็น LL

#### 1.9.6 การเพิ่มบล็อกในโมเดล:



รูปที่ 8

##### 1.9.6.1 ใช้บล็อก Analog to Digital Converter เพื่ออ่านค่าจาก potentiometer

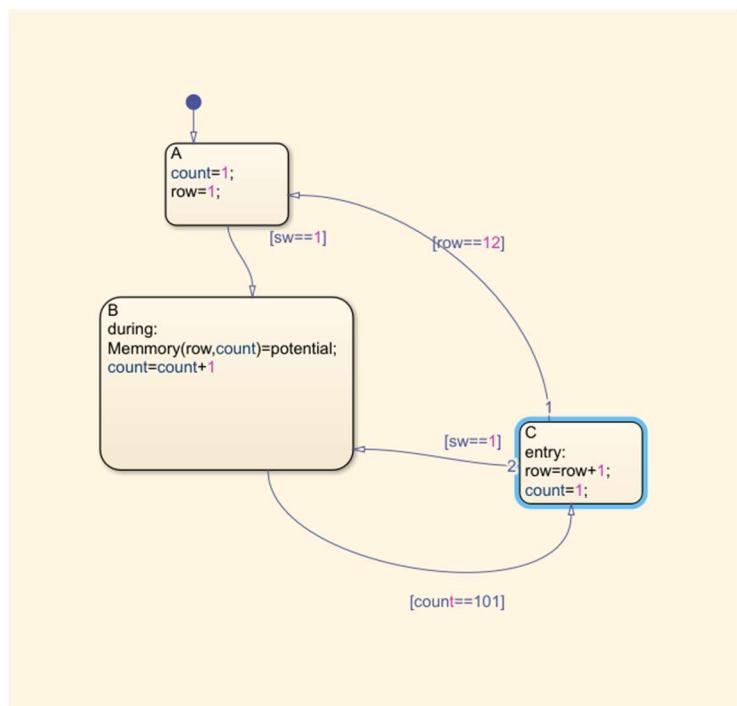
##### 1.9.6.2 ใช้บล็อก Digital Port Read เพื่อตรวจจับการกดปุ่ม

##### 1.9.6.3 ใช้บล็อก Detect Rise Positive เพื่อลดการ debounce ของปุ่ม

##### 1.9.6.4 ใช้บล็อก Display เพื่อแสดงผลค่า

##### 1.9.6.5 ใช้บล็อก To Workspace เพื่อนำค่าที่อ่านได้ไปยัง MATLAB

#### 1.9.7 การสร้าง State Flow:



รูปที่ 9

1.9.7.1 สร้าง Chart ใน State Flow โดยกำหนดให้มีอ กดสวิตช์ จะทำการเก็บค่า 100 ค่าลงใน array ขนาด  $11 \times 100$

1.9.7.2 เมื่อกดสวิตช์ครั้งแรก จะเก็บค่าในแก้วที่ 1 และเมื่อกดสวิตช์อีกครั้ง จะเก็บค่าในแก้วตัดไปทำข้าวจานແກัวเต็มและหยุดทำงาน

#### 1.9.8 การวิเคราะห์ข้อมูลใน MATLAB:

```

potential_data_test.m
1 %Data = out.simout;
2 Poten_B = zeros(1, 11);
3
4 for i=1:11
5 Poten_B(1,i)=mean(Data(i,1:100));
6 end
7 volt_B =Poten_B*(3.3/4095);
8 percent_B = Poten_B*(100/4095);
9 disp(Poten_A)
10 disp(volt_A)
11 disp(percent_A)
12

```

รูปที่ 10

#### 1.9.8.1 นำค่าที่ได้จากบล็อก To Workspace มาหาค่าเฉลี่ย

#### 1.9.8.2 แปลงค่าจากบีทเป็นโวลต์ โดยการคูณ 3.3 และหารด้วย 4095

#### 1.9.8.3 แปลงค่าจากบีทเป็นเปอร์เซ็นต์

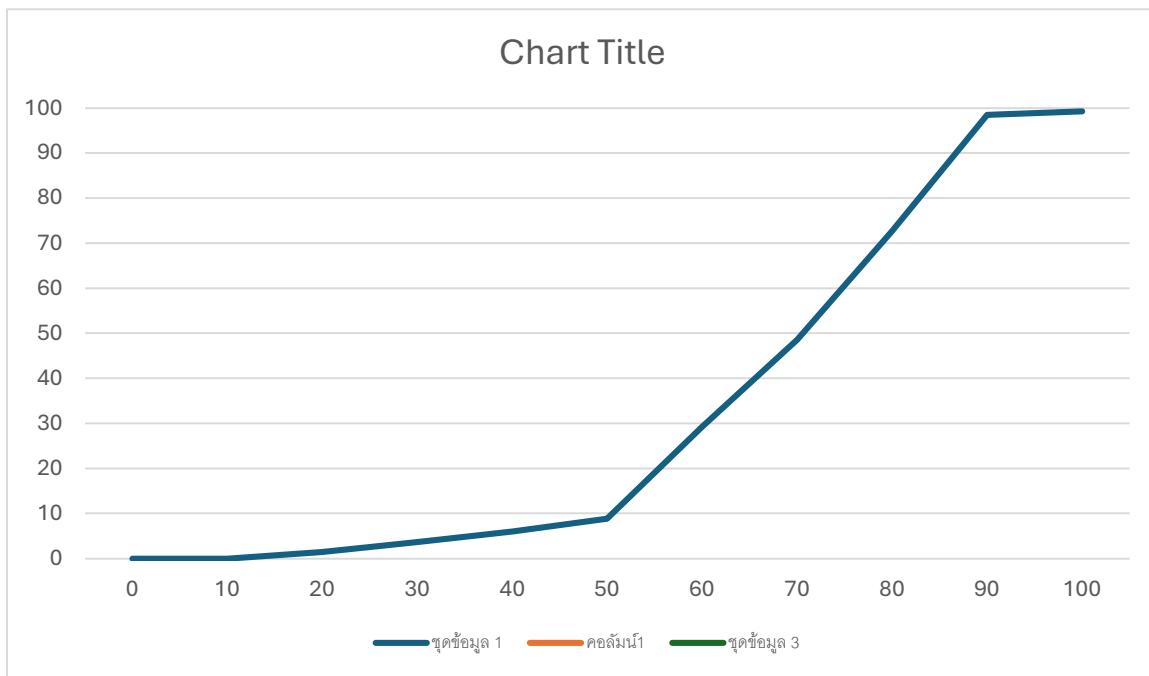
#### 1.9.8.4 นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟ

### 1.10 ผลการทดลอง

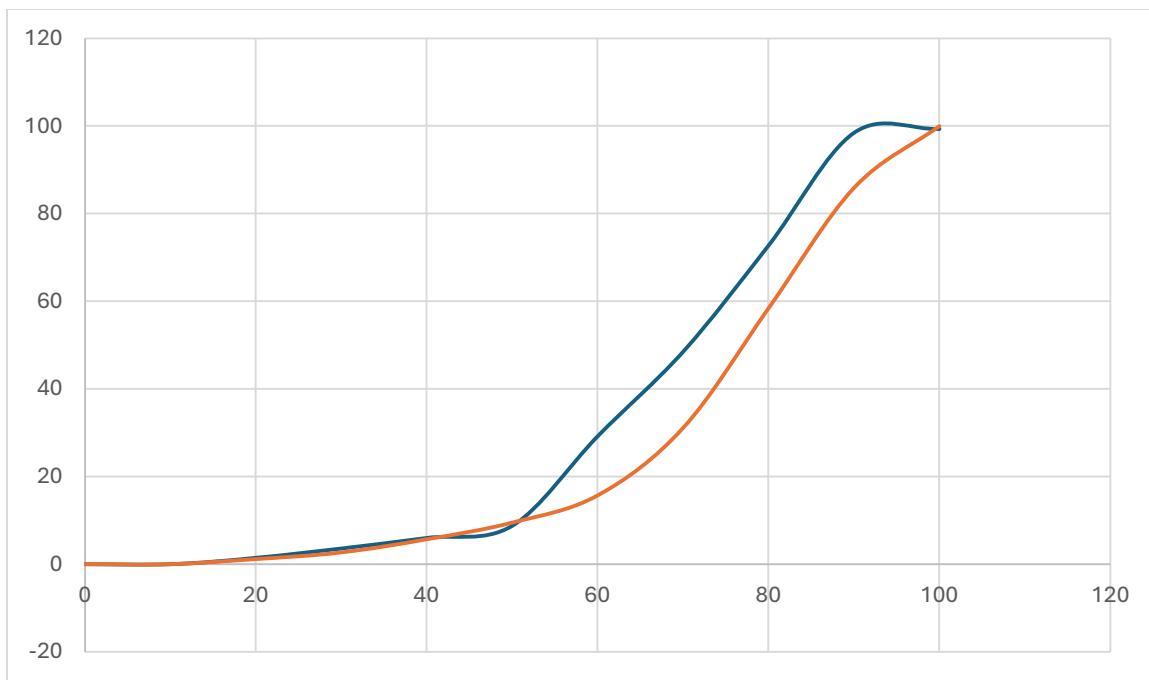
#### 1.10.1 Potentiometer A

ร้อยละของค่าการหมุนหรือระดับการขยายของ Potentiometer(%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละแรงดันข้าออกต่อแรงดันขาเข้า (%)
0	0

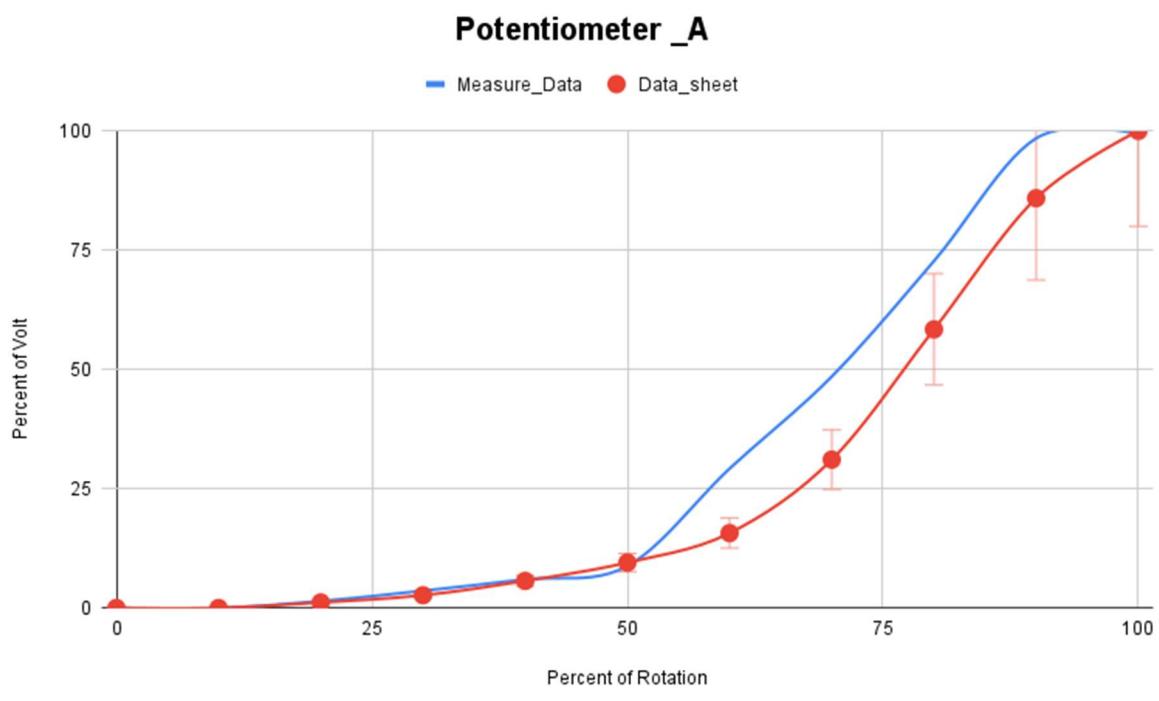
10	0
20	1.437851
30	3.6149
40	6.0054
50	8.7907
60	29.219
70	48.5145
80	72.7226
90	98.454
100	99.3031



รูปที่ 11 Potentiometer A



รูปที่ 12 Potentiometer A เทียบกับ data sheet

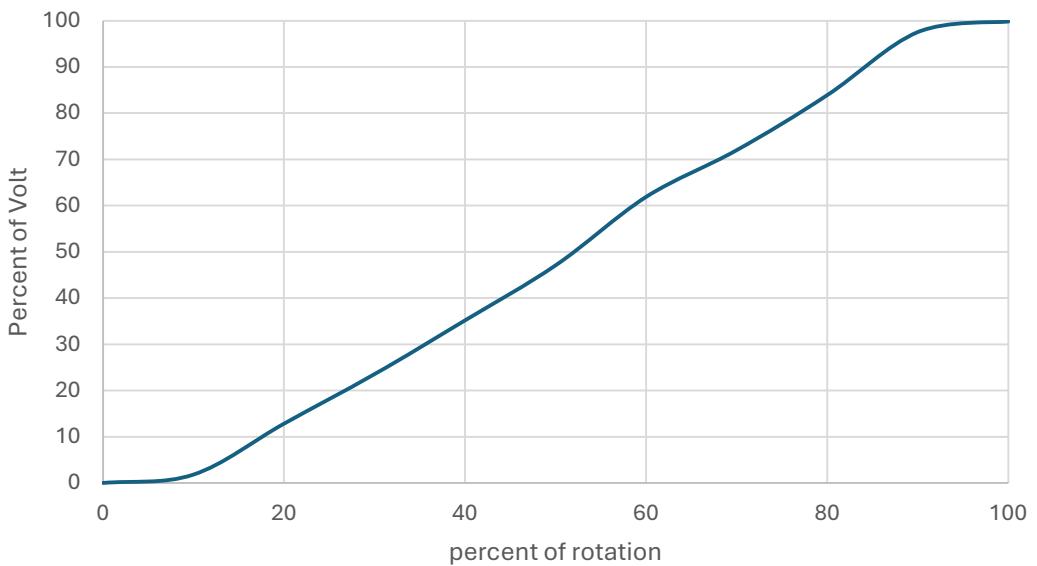


13 Potentiometer A เทียบกับ data sheet

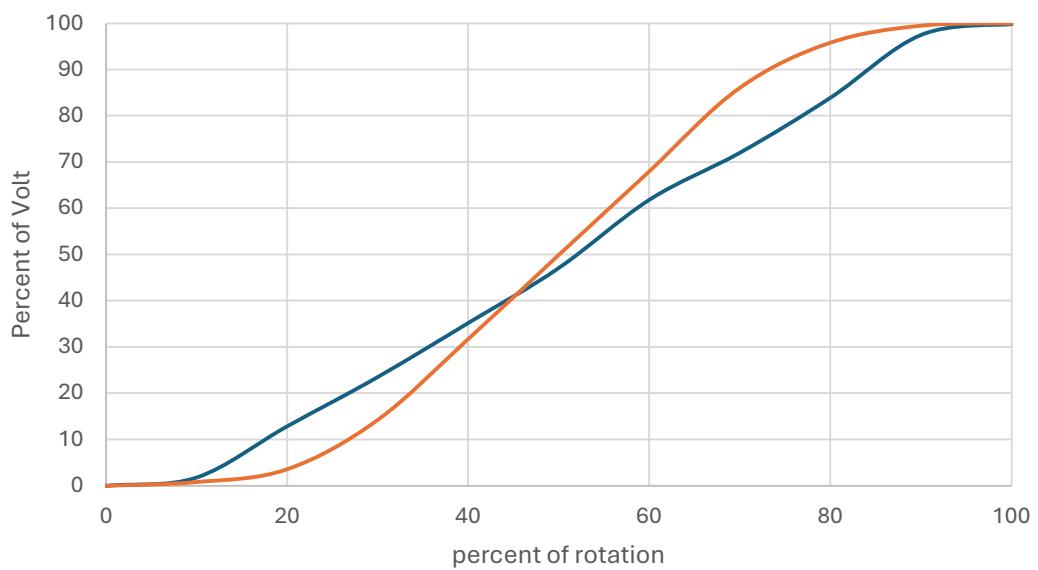
รูปที่

### 1.10.2 Potentiometer B

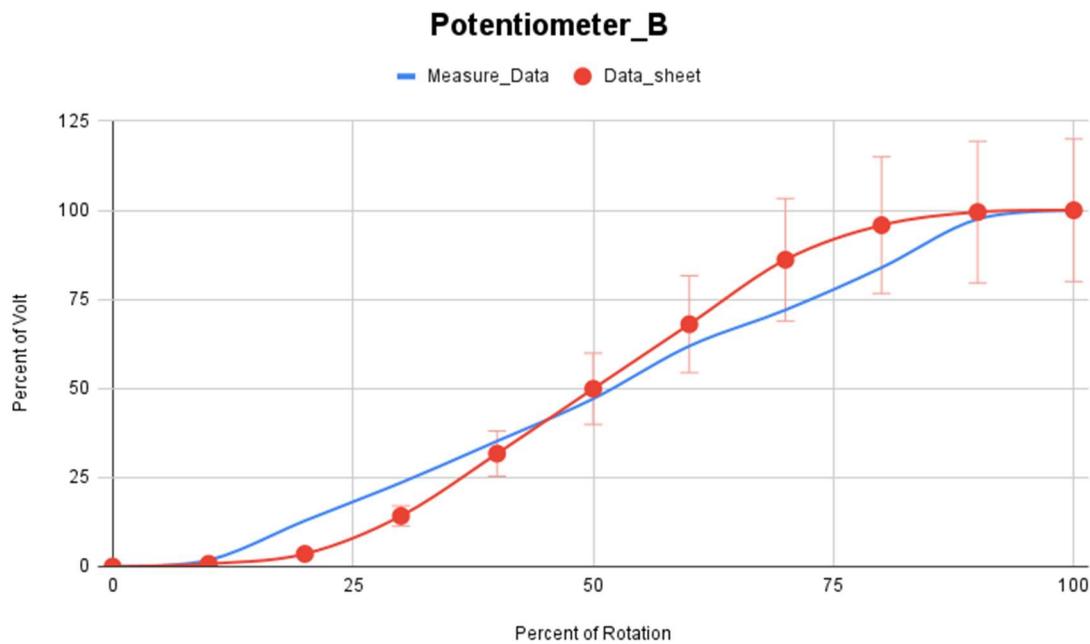
ร้อยละองค์การหมุนหรือระบบการขับของ Potentio meter(%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละแรงดันขาออกต่อแรงดันขาเข้า (%)
0	0
10	1.812
20	12.8562
30	23.5358
40	35.2129
50	47.093
60	61.8852
70	72.0188
80	83.9006
90	97.5138
100	99.8569



รูปที่ 14 Potentiometer B



รูปที่ 15 Potentiometer B เทียบกับ data sheet

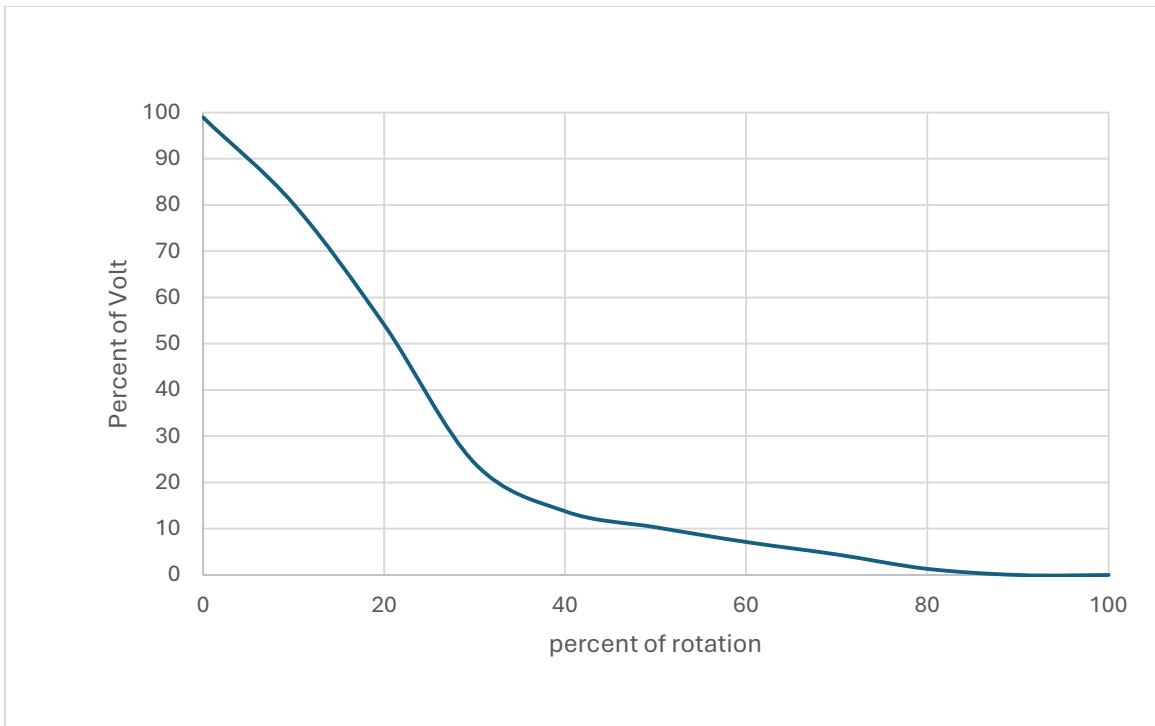


รูปที่ 16 Potentiometer B เทียบกับ data sheet

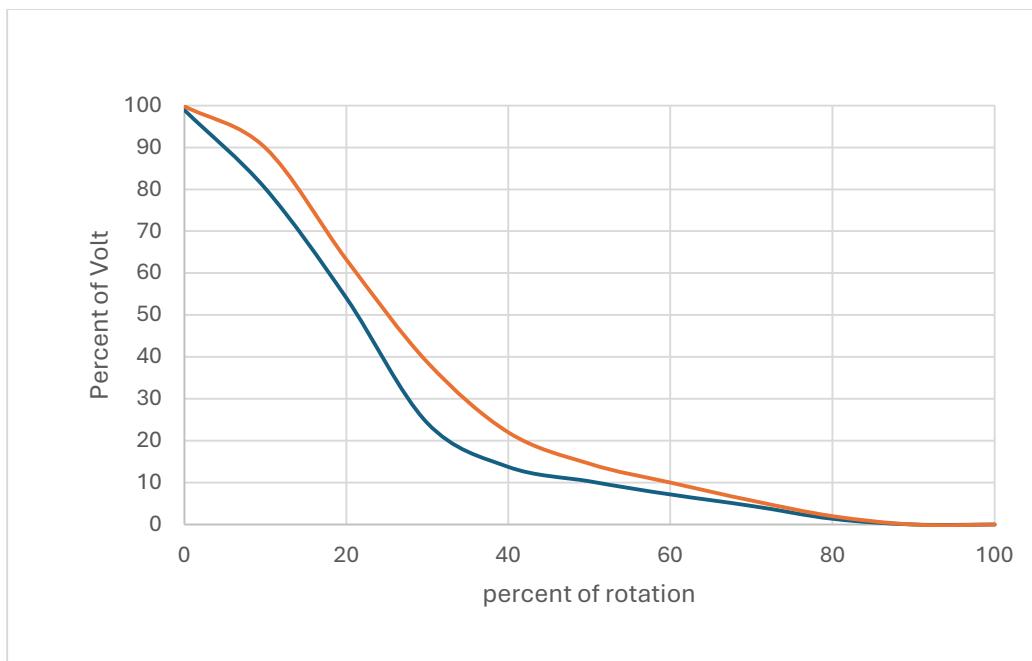
### 1.10.3 Potentiometer C

ร้อยละของค่าการหมุนหรือระดับการขยับของ Potentio meter(%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละแรงดันขาออกต่อแรงดันขาเข้า (%)
0	98.9577533577534
10	80.2278388278388
20	54.1130647130647
30	24.2122100122100
40	13.7858363858364
50	10.3196581196581
60	7.16385836385836

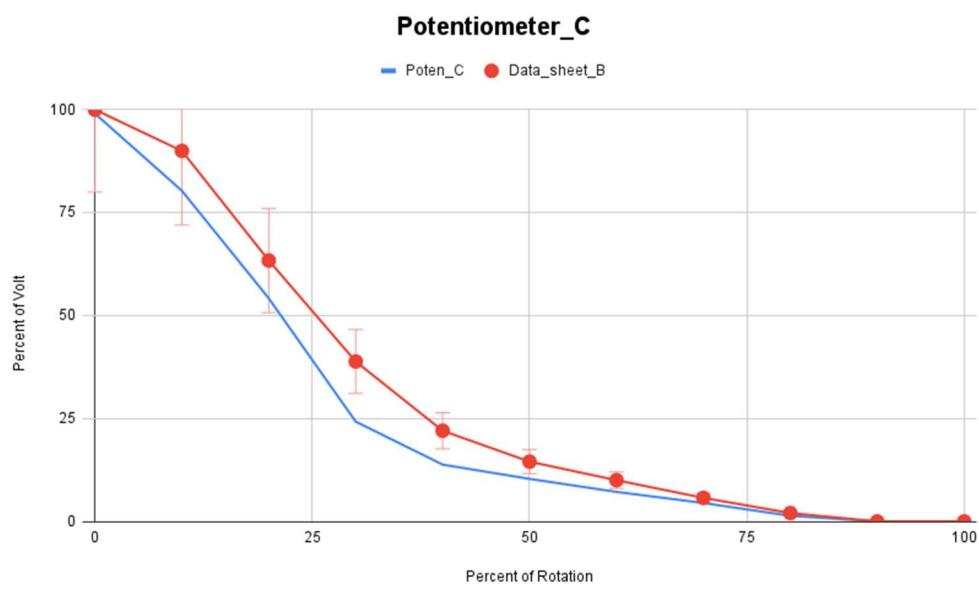
70	4.47399267399267
80	1.36166056166056
90	0
100	0



รูปที่ 17 Potentiometer C



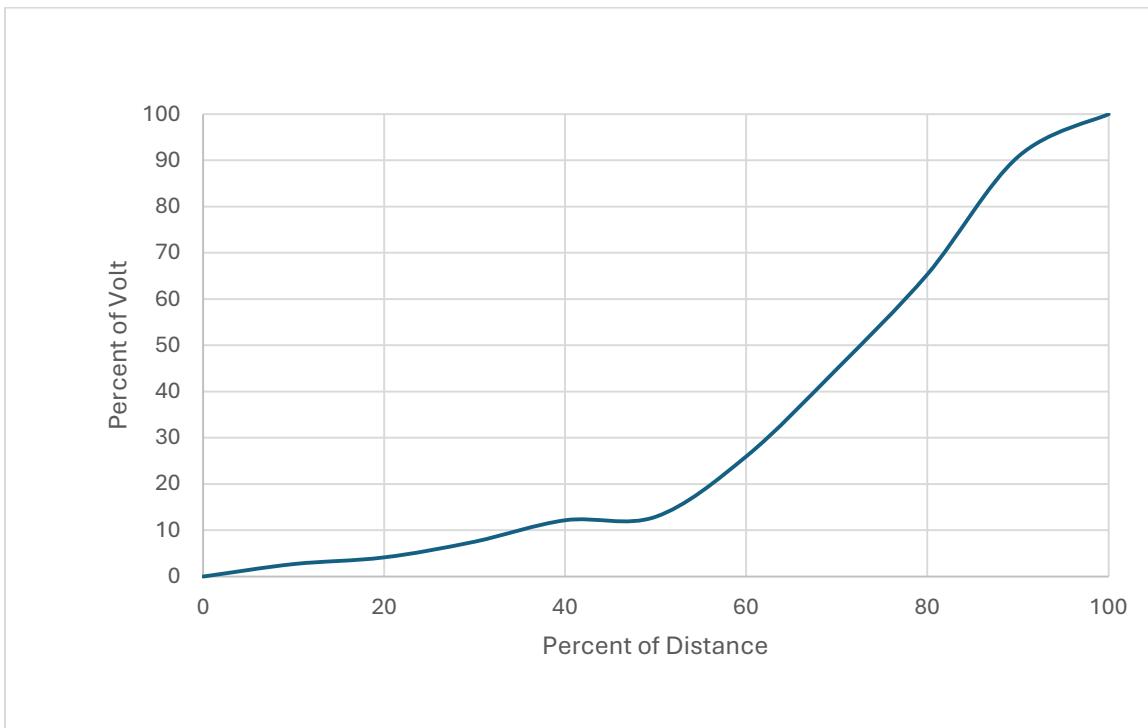
รูปที่ 18 Potentiometer C เทียบกับ data sheet



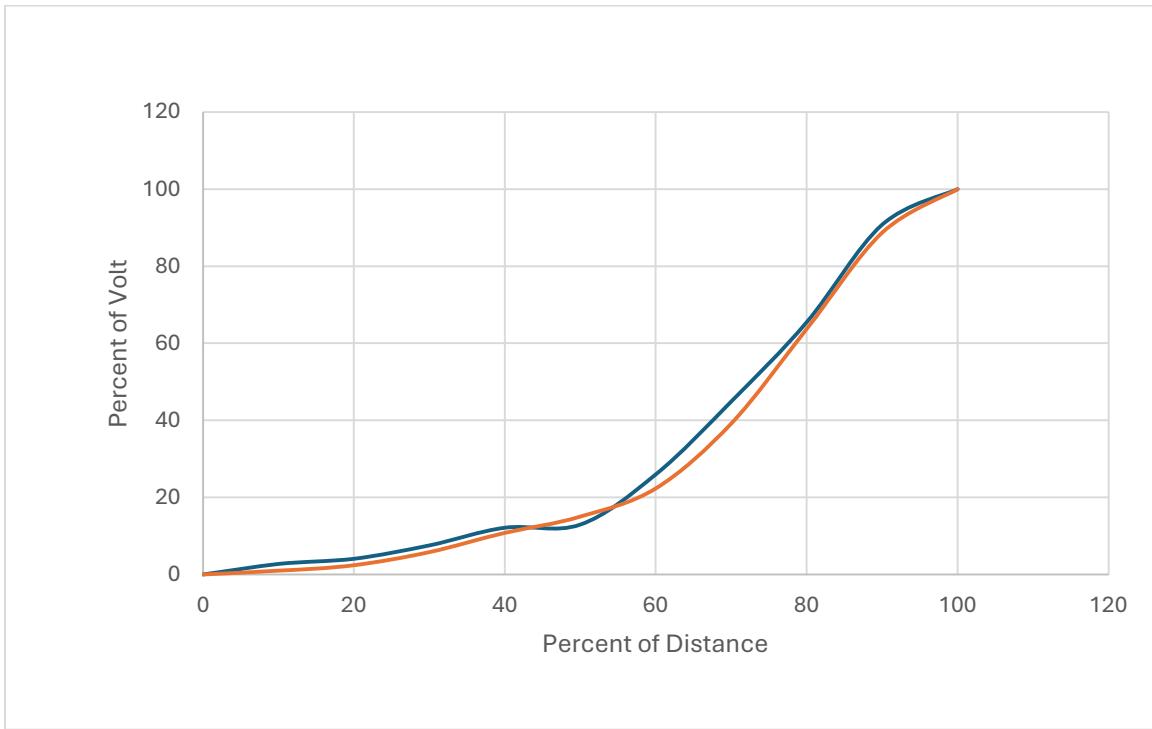
รูปที่ 19 Potentiometer C เทียบกับ data sheet

#### 1.10.4 Potentiometer LA

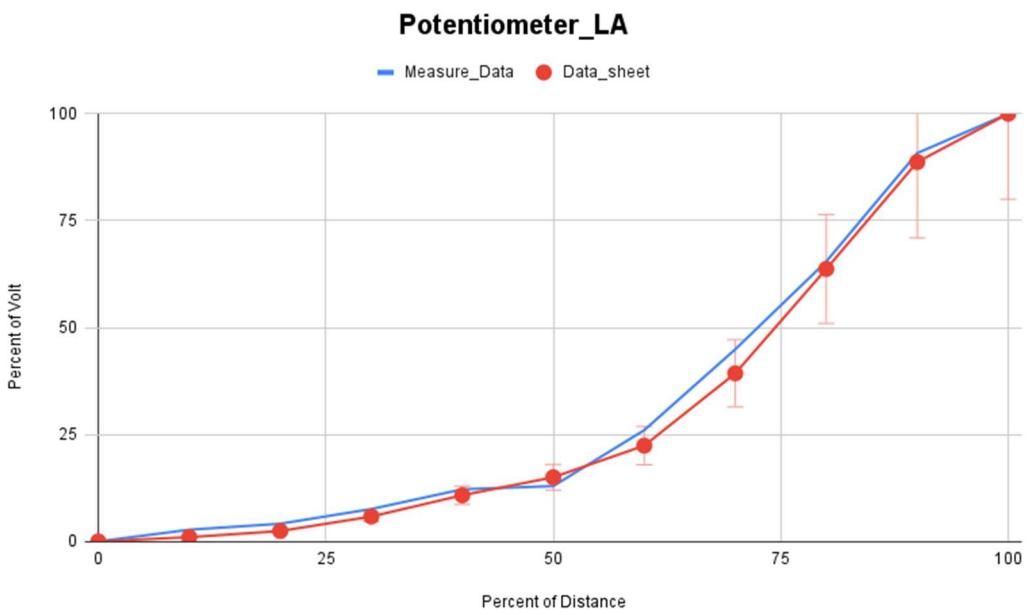
ร้อยละองค์การหมุนหรือระยะการขยายของ Potentiometer(%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละแรงดันขาออกต่อแรงดันขาเข้า (%)
0	0
10	2.7333333
20	4.1394383
30	7.5736264
40	12.18486
50	12.94652
60	26.016361
70	44.91917
80	65.442247
90	90.790965
100	99.989744



รูปที่ 20 Potentiometer LA



รูปที่ 21 Potentiometer LA เทียบกับ data sheet

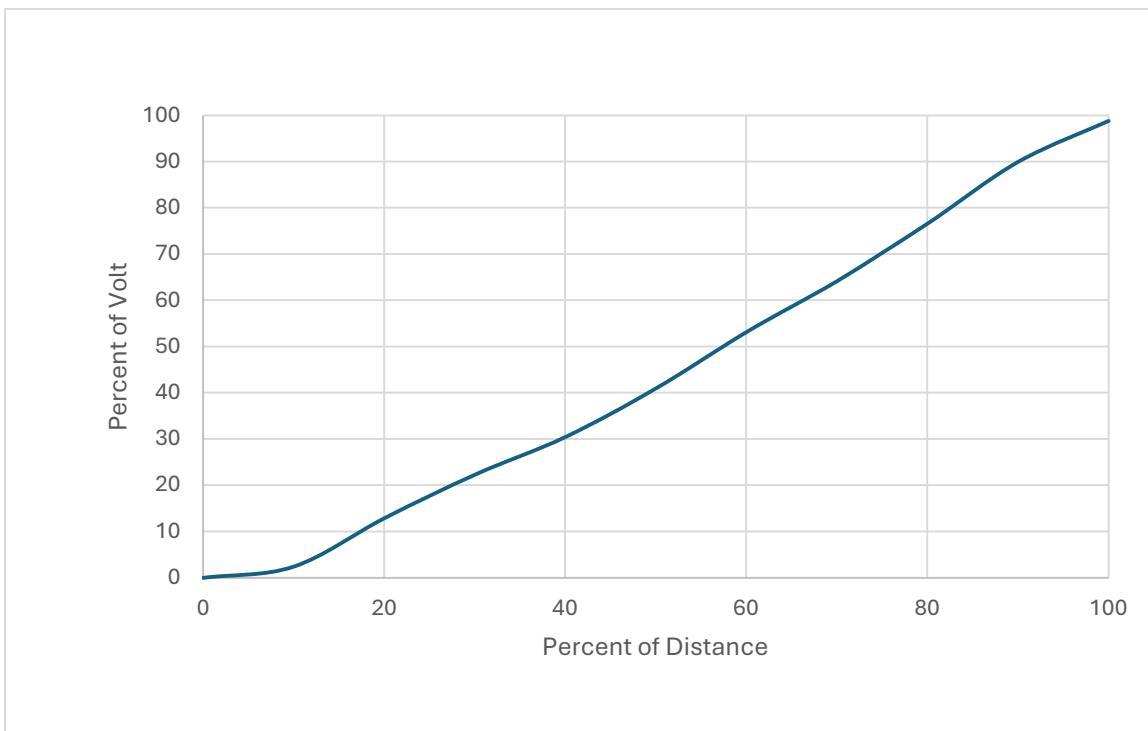


รูปที่ 22 Potentiometer LA เทียบกับ data sheet

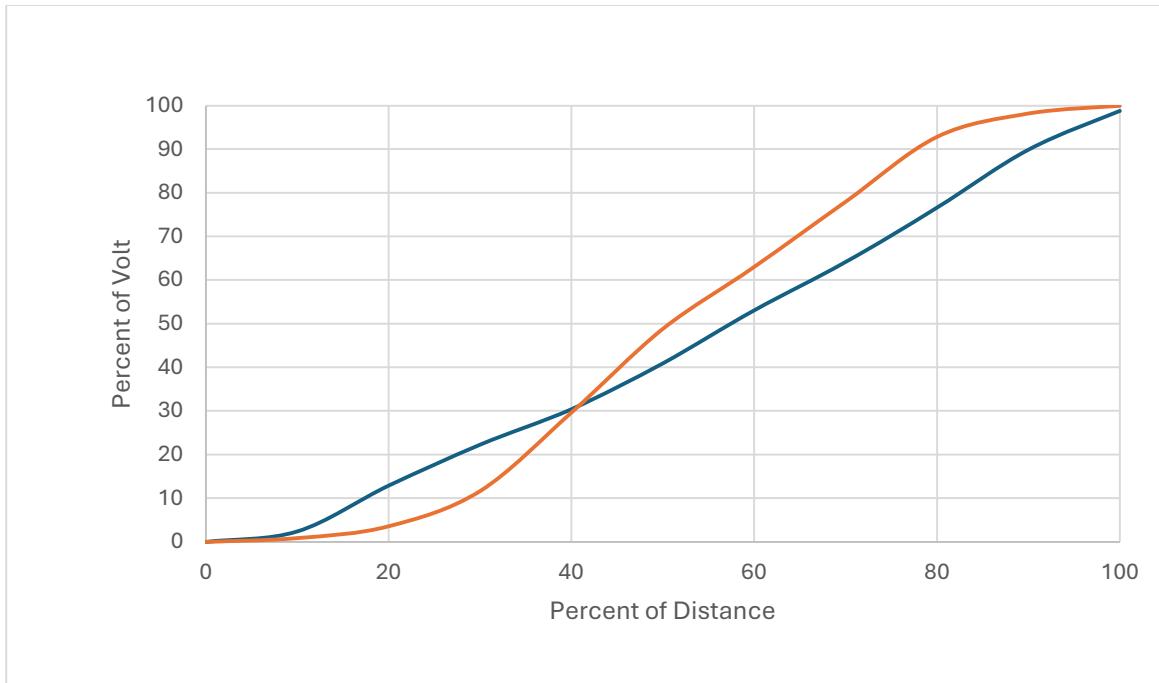
#### 1.10.5 Potentiometer LB

ร้อยละของค่าการหมุนหรือระดับการขยายตัวของ Potentio meter(%)	ค่าเฉลี่ยร้อยละแรงดันข้าวอกต่อแรงดันข้าเข้า (%)
0	0
10	2.4076
20	12.8774
30	22.3065
40	30.4479
50	40.9275
60	53.1209
70	64.1516
80	76.6142

90	89.9499
100	98.8017

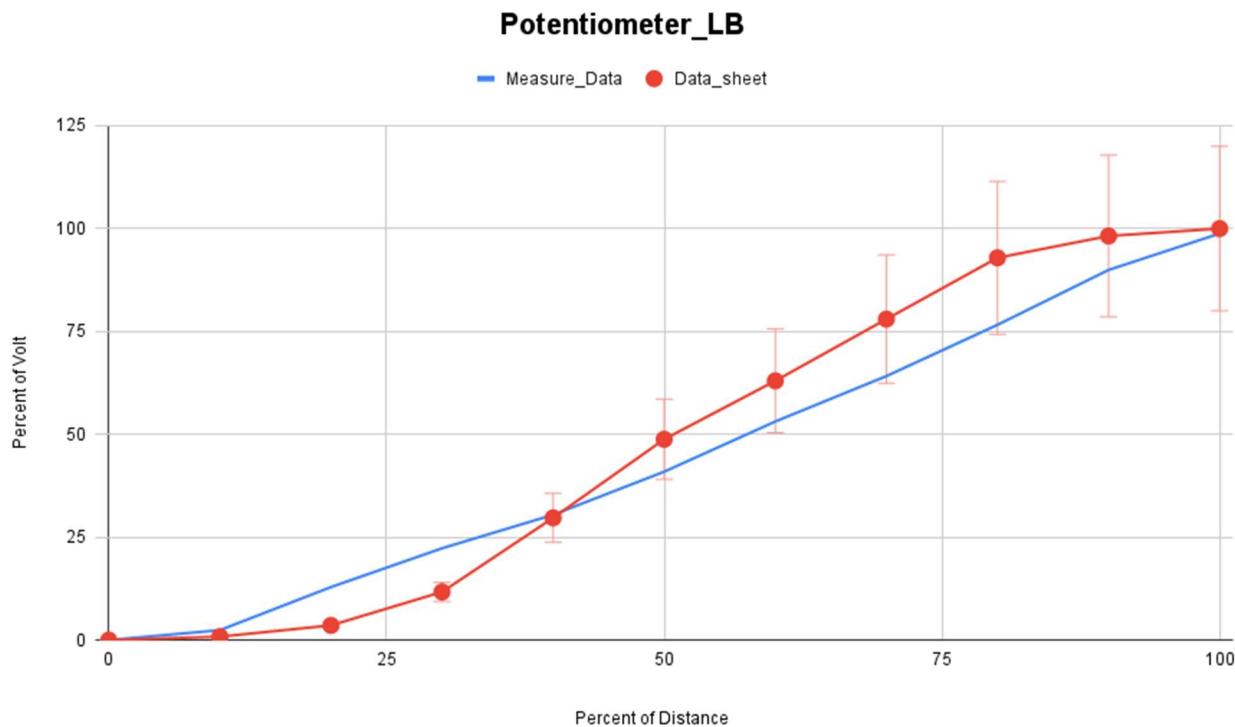


รูปที่ 23 Potentiometer LB



รูปที่ 24 Potentiometer LA เทียบกับ data sheet

8412-859263.



รูปที่ 25 Potentiometer LB เทียบกับ data sheet

## 1.11 สรุปผล

### 1.11.1 จากผลการทดลอง Potentiometer characteristic type ต่างๆ ได้ผลสรุปว่า

1.11.1.1 Potentiometer A พบร่วมกับข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันข้าวกับ Potentiometer A และ องคาการหมุนหรือระบบการขับของ Potentiometer A มีความใกล้เคียงกับ characteristic type A ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ growth logarithm

1.11.1.2 Potentiometer B พบร่วมกับข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันข้าวกับ Potentiometer B และ องคาการหมุนหรือระบบการขับของ Potentiometer B มีความใกล้เคียงกับ characteristic type B ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ linear

1.11.1.3 Potentiometer C พบร่วมกับข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันข้าวกับ Potentiometer C และ องคาการหมุนหรือระบบการขับของ Potentiometer C มีความใกล้เคียงกับ characteristic type C ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ decay logarithm

1.11.1.4 Potentiometer LA พบว่าจากข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจาก Potentiometer LA และ องค์การหมุนหรือระยะการขยับของ Potentiometer LA มีความใกล้เคียงกับ characteristic type A ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ growth logarithm

1.11.1.5 Potentiometer LB พบว่าจากข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจาก Potentiometer LB และ องค์การหมุนหรือระยะการขยับของ Potentiometer LB มีความใกล้เคียงกับ characteristic type B ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ linear

## 1.12 อภิปรายผล

การทดลองนี้แสดงถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าต่ำแหน่งเชิงเส้นของโพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งเก็บข้อมูลทุก ๆ ระยะที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ของช่วงการวัด โดยคำนวณค่าเฉลี่ยรากกำลังสอง (RMS) เพื่อช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงจากเอกสารข้อมูลของเซนเซอร์ โดยค่าที่วัดได้มีอิทธิพลกับกราฟจากเอกสารข้อมูลมีอัตราความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการวัดค่า นอกจากนี้การคำนวณ RMS ยังช่วยลดความผันผวนของข้อมูล ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น 1.13 ข้อเสนอแนะ

1.13.1 หมุนองค์การหรือเลื่อนระยะของ Potentiometer ให้แม่นยำมากขึ้น

1.13.1 เก็บค่าด้วยความถี่และจำนวนครั้งที่มากขึ้น

## 1.14 เอกสารอ้างอิง

1.14.1 <https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/potentiometer.html>

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

1.14.3 <https://www.bourns.com/pdfs/PDB18.pdf>

1.14.4 <https://www.alldatasheet.co.uk/datasheet-pdf/pdf/1901711/BOURNS/PTA6043-2015DPA103..html>

## การทดลองที่ 2 Schmitt-trigger

### 2.1 จุดประสงค์

2.1.1 สามารถแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบของ Schmitt-trigger ได้โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Potentiometer ด้วยมีอเป็น Input และ สัญญาณ Digital เป็น Output จากการ Log

สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่า สัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time

## 2.2 สมมติฐาน

2.2.1 การหมุนของ Potentiometer มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าข้ออก

## 2.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

2.3.1 ตัวแปรต้น : แรงดันที่วัดได้ก่อนเข้าวงจร Schmitt-trigger

2.3.2 ตัวแปรตาม : สัญญาณข้าออกจากการ Schmitt-trigger

2.3.3 ตัวแปรควบคุม : วงจร Schmitt-trigger

Upper threshold

Lower threshold

ชนิดของ potentiometer ที่ใช้

บอร์ด Nucleo STM32G474RE

## 2.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

2.4.1 STM32 หมายถึง Nucleo STM32G474RE

## 2.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

2.5.1 Potentiometer A หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPA103

2.5.2 Potentiometer B หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103B

2.5.3 Potentiometer C หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103C

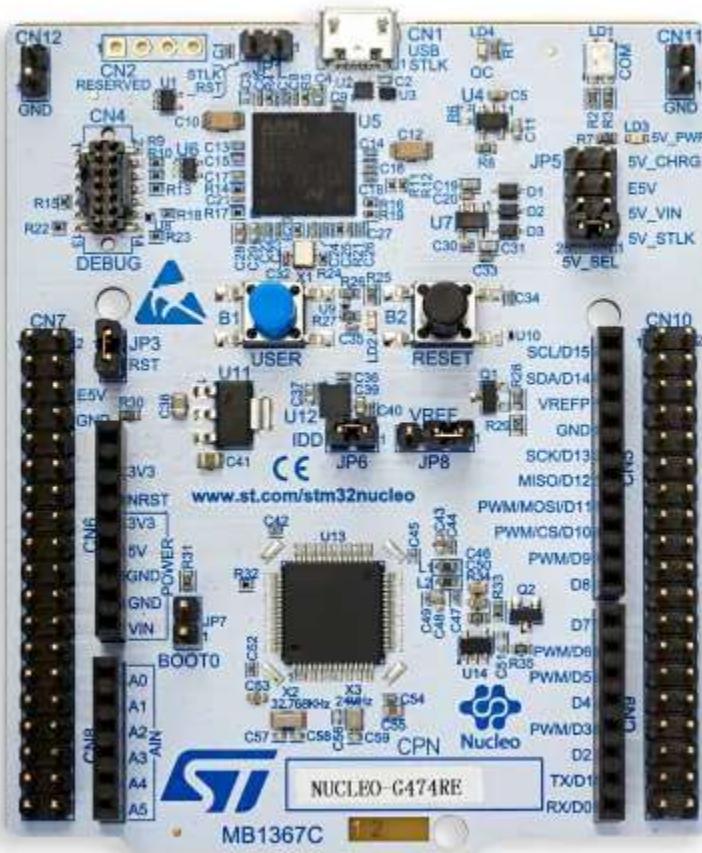
2.5.4 Potentiometer LA หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103A2

2.5.5 Potentiometer LB หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPB103

## 2.6 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 Nucleo STM32G474RE

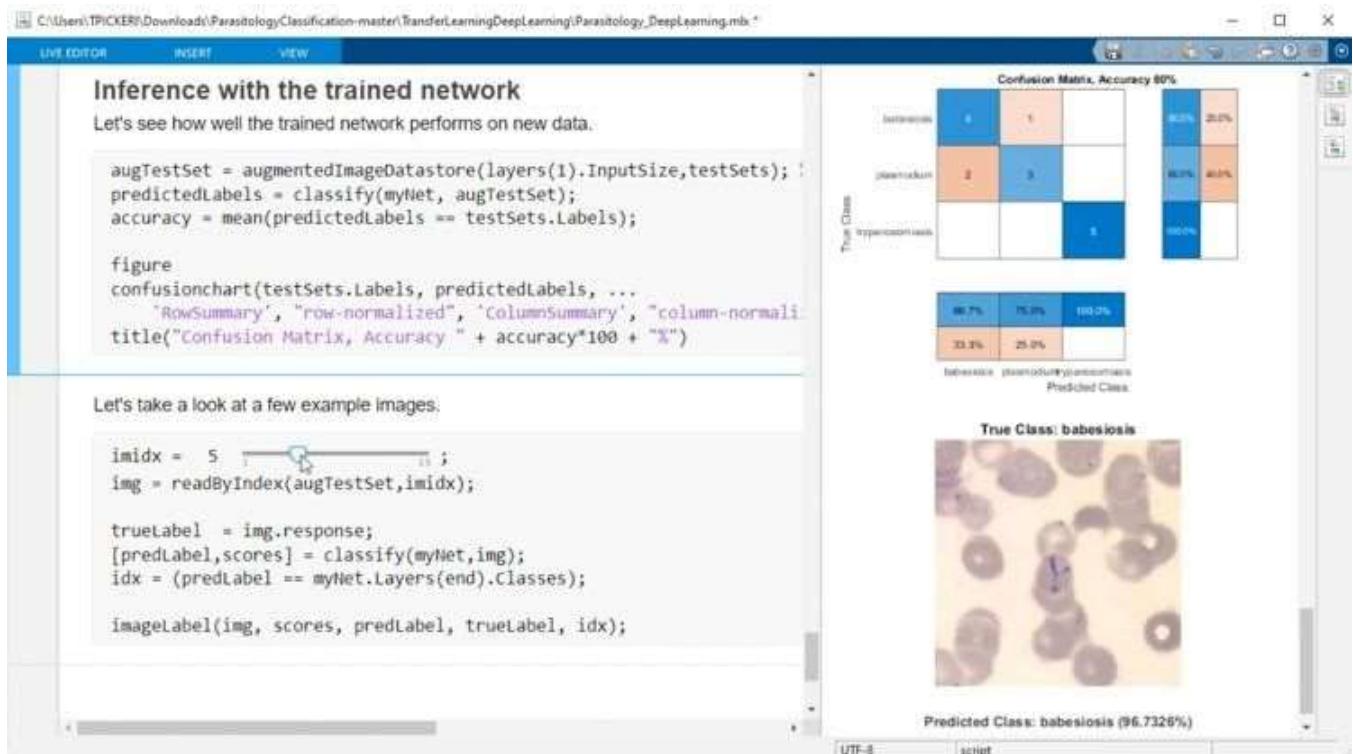
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ซึ่งสามารถในการควบคุมสัญญาณแบบอะนาล็อกและดิจิทัล และรองรับการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ ทำให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



รูปที่ 26 Nucleo STM32G474RE

### 2.6.2 MATLAB

คือโปรแกรมซอฟต์แวร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข การประมวลผลข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 27 MATLAB

### 2.6.3 Simulink

เป็นเครื่องมือเสริมของ MATLAB ซึ่งใช้สำหรับการสร้างและจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมและระบบพลศาสตร์ผ่าน การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming) โดยผู้ใช้สามารถสร้างแผนผังบล็อกได้象โปรแกรมเพื่อจำลองระบบที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย เช่น ระบบควบคุม, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า, และระบบไฮบริดต่าง ๆ



รูปที่ 28 Simulink

## Schmitt-trigger คือ

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยมีคุณสมบัติหลักคือการให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน ทำให้มีระดับแรงดันที่ชัดเจนสำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานะ จาก "ต่ำ" เป็น "สูง" หรือ "สูง" เป็น "ต่ำ"

การทำงานของ Schmitt trigger มีลักษณะการเปลี่ยนสถานะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (hysteresis)

ซึ่งหมายความว่าจะมีระดับแรงดันที่แตกต่างกันในการสลับระหว่างสองสถานะนี้ ตัวอย่างเช่น

อาจมีแรงดันที่ต้องการเพื่อให้สัญญาณเปลี่ยนจากต่ำเป็นสูง และอีกระดับหนึ่งเพื่อเปลี่ยนกลับจากสูงเป็นต่ำ

Schmitt trigger มากถูกใช้ในวงจรที่ต้องการความเสถียร เช่น ในการตรวจจับสัญญาณที่มีเสียงรบกวนสูง หรือในวงจรควบคุมเพื่อให้มีการตอบสนองที่รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

## 2.7 วิธีดำเนินการทดลอง

2.7.1 เชื่อมต่อสายบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE

2.7.2 สร้างและออกแบบ Simulink model เพื่อแสดงสัญญาณที่ได้

## 2.8 วัสดุอุปกรณ์

2.8.1 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด

2.8.2 Potentiometer PTA6043-2015DPA103

2.8.3 Potentiometer PTA6043-2015DPB103

2.8.4 Potentiometer PDB181-K420K-103A2

2.8.5 Potentiometer PDB181-K420K-103B

2.8.6 Potentiometer PDB181-K420K-103C

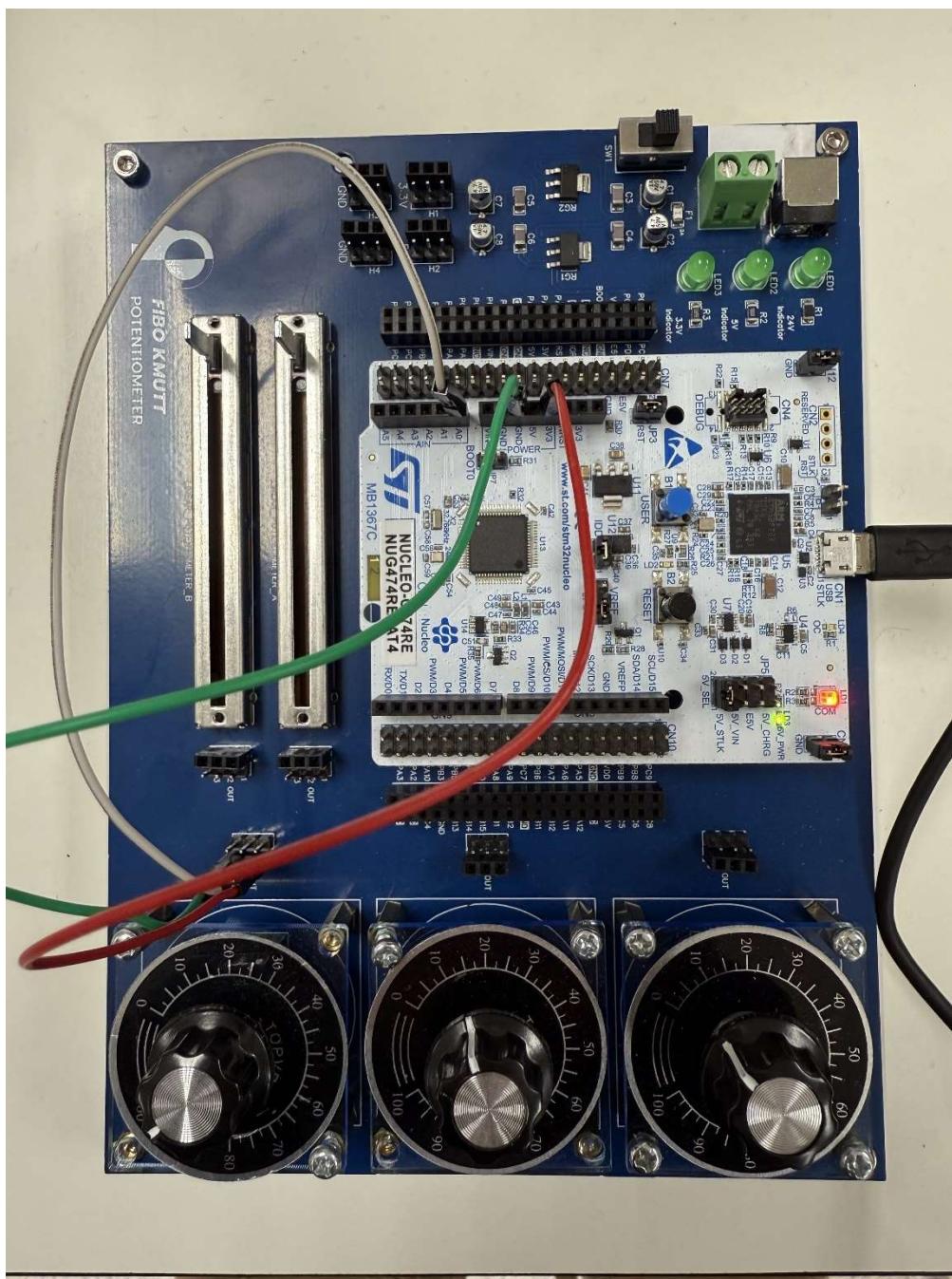
2.8.7 PotenXplorer จำนวน 1 ชุด – ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print, ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์

2.8.8 สายจัมเปอร์

## 2.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 2.9.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Potentiometer

### 2.9.2 การเชื่อมต่อบอร์ด:



รูปที่ 29

2.9.2.1 เสียบสาย USB เพื่อเชื่อมต่อบอร์ด Nucleo STM32G474RE เข้ากับ คอมพิวเตอร์

2.9.2.2 เชื่อมต่อสาย jumper (1) จากพิน 3V3 บนบอร์ดไปยังพิน 1 ของ potentiometer

2.9.2.3 เชื่อมต่อสาย jumper (2) จากพิน GND บนบอร์ดไปยังพิน 3 ของ potentiometer

2.9.2.4 เชื่อมต่อสาย jumper (3) จากพิน A0 บนบอร์ดไปยังพิน 2 ของ potentiometer

2.9.2 การเปิดโปรแกรม Simulink:

2.9.2.1 เปิดโปรแกรม Simulink

2.9.2.2 สร้างโมเดลใหม่

2.9.3 การตั้งค่าโมเดล:

2.9.3.1 ปรับ Fixed Step เป็น 0.01

2.9.3.2 เลือก Hardware Board เป็น Nucleo STM32G474RE

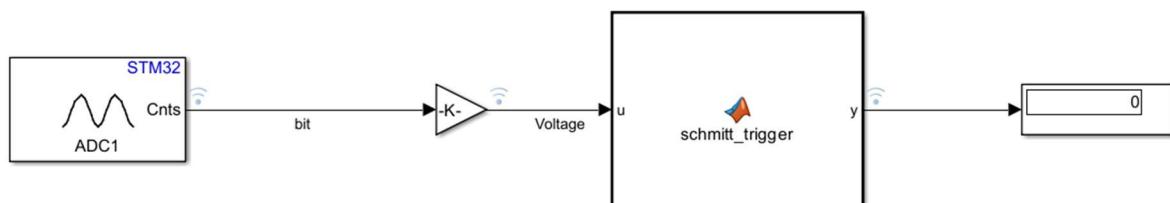
2.9.4 การสร้าง STM32CubeMX Project:

2.9.4.1 ตั้งค่า ADC1 IN1 เป็น Single-ended

2.9.4.2 ปิด Visibility (static)

2.9.4.3 ตั้งค่า Driver Selector เป็น LL

2.9.5 การเพิ่มบล็อกในโมเดล:



รูปที่ 30

```

function y = schmitt_trigger(u)
    u = double(u);
    upper_threshold = 2.5;
    lower_threshold = 1.0;

    persistent state
    if isempty(state)
        state = 0;
    end

    if u >= upper_threshold
        state = 3.3;
    elseif u <= lower_threshold
        state = 0;
    end
    y = state;
end

```

รูปที่ 31

2.9.5.1 ใช้บล็อก Analog to Digital Converter เพื่ออ่านค่าจาก potentiometer

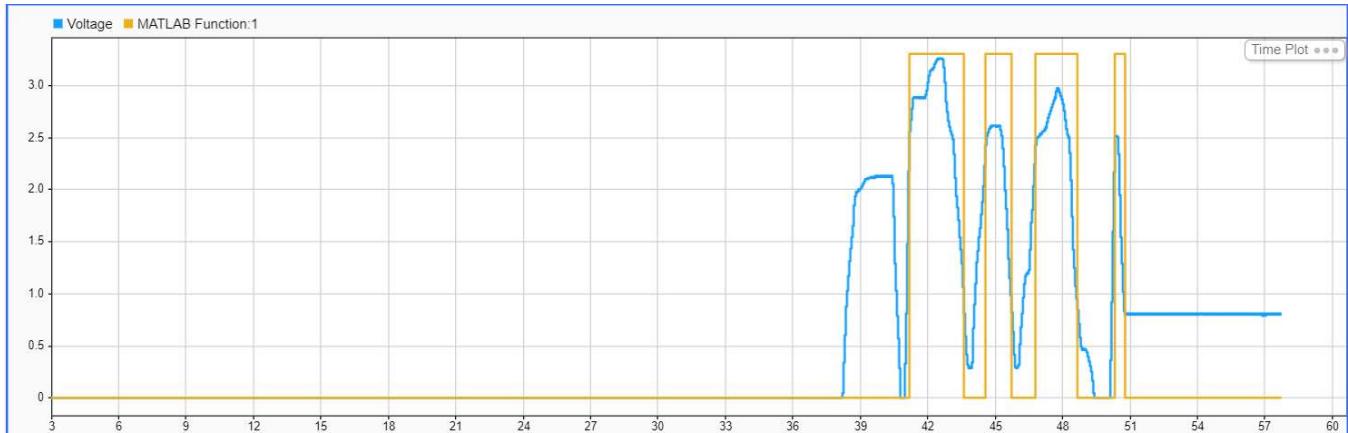
2.9.5.2 ใช้บล็อก Gain ในการแปลงสัญญาณ เป็น volt

2.9.5.3 ใช้บล็อก Matlab function ในการกำหนดค่า upper threshold และ lower threshold

2.9.5.4 ใช้บล็อก Display เพื่อแสดงผลค่า

## 2.10 ผลการทดลอง

จากการเก็บค่าของแรงดันก่อนเข้า Schmitt-trigger และสัญญาณหลังออกจากวงจร Schmitt-trigger ได้ข้อมูลดังนี้



กราฟแสดงการตอบสนองของสัญญาณ digital ที่ออกจากการ Schmitt-trigger

## 2.11 สรุปผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อสัญญาณ analog จาก potentiometer ผ่านจุด upper threshold สัญญาณ digital ที่ออกจาก วงจร Schmitt-trigger จะเป็น 1 และเมื่อ เมื่อสัญญาณ analog จาก potentiometer ผ่านจุด lower threshold สัญญาณ digital ที่ออกจาก วงจร Schmitt-trigger จะเป็น 0

## 2.12 อภิปราย

จากราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออก จะเห็นได้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อแรงดันขาเข้าผ่านระดับที่กำหนดไว้ โดยสัญญาณขาออกจะเปลี่ยนจากระดับต่ำไปเป็นระดับสูงในช่วงที่สัญญาณขาเข้าถึงค่าที่กำหนด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของ Schmitt Trigger ในการกรองสัญญาณที่มีความแปรปรวน ช่วยให้การตอบสนองของวงจร มีความแม่นยำและลดความผิดพลาดในการวัดค่า

## 2.13 ข้อเสนอแนะ

2.13.1 ทดลองปรับเปลี่ยน ค่า upper threshold และ lower threshold เพื่อทำความเข้าใจวงจร Schmitt-trigger

## 2.14 เอกสารอ้างอิง

2.14.1 <https://www.ti.com/lit/scea046>

2.14.1 <https://www.electrical4u.com/schmitt-trigger/>

2.14.1 <https://th.mouser.com/ProductDetail/CUI-Devices/AMT103-V?qs=WyjIAZoYn51X2GCrrvGQTg%3D%3D>

การทดลองที่ 3 Incremental Encoder

### 3.1 จุดประสงค์

- 3.1.2 เพื่อให้เข้าใจ และสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Incremental Encoder
- 3.1.3 เพื่ออธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder ได้ เมื่อทิศทางและความเร็วการหมุนเปลี่ยนแปลงไปของ Incremental Encoder
- 3.1.4 เพื่อวิเคราะห์ ข้อดี-เสีย ของการอ่านด้วย QEI และ Polling Method
- 3.1.5 เพื่ออธิบายหลักการทำงาน และความหมายของการ config parameter ใน IOC
- 3.1.6 เพื่ออ่านค่าจาก Incremental Encoder ในรูปแบบการสัญญาณแบบ Quadrature encoder ได้ทุกรูปแบบ และทุกวิธีการ (QEI และ Polling Method)

### 3.2 สมมติฐาน

3.2.1 QEI Method ควรแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้ดีกว่า Polling Method เนื่องจากการจับการเปลี่ยนแปลงได้ละเอียดขึ้น ในขณะที่ Polling Method อาจมีการสูญเสียข้อมูลระหว่างการหมุนที่เร็วเกินไป

3.2.2 ถ้าอ่านค่าสัญญาณจาก QEI Method การแปลงเป็นตำแหน่งและความเร็วเชิงมุมควรมีความถูกต้องสอดคล้องกับการหมุนจริง

### 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ตัวแปรต้น : การอ่านค่า QEI หรือ Polling Method

3.3.2 ตัวแปรตาม : ตำแหน่งเชิงมุม, ความเร็วเชิงมุม, Relative Position

3.3.3 ตัวแปรควบคุม : การตั้งค่า Parameter ใน IOC, Pulses Per Revolution

### 3.4 นิยายศัพท์เฉพาะ

3.4.1 STM32 หมายถึง Nucleo STM32G474RE

3.4.2 Encoder หมายถึง Incremental Encoder

3.4.3 Quadrature encoder หมายถึง การอ่าน Encoder แบบ X1,X2,X4

### 3.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

3.5.1 ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) หมายถึง ตำแหน่งเชิงมุมที่คำนวณจากจำนวน Pulse ที่นับได้จาก Encoder ตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้น

3.5.2 ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) หมายถึง ความเร็วเชิงมุมที่คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเชิงมุมที่ได้ในช่วงเวลาที่กำหนด

3.5.3 Pulses Per Revolution(PPR) หมายถึง จำนวนพัลส์ที่ Incremental Encoder สร้างขึ้นเมื่อหมุนครบรอบหนึ่งรอบ (360 องศา) ค่านี้เป็นตัวบ่งชี้ความละเอียด (Resolution) ของ Encoder ว่าสามารถแบ่งการหมุนรอบหนึ่งออกได้เป็นกี่ตำแหน่งย่อย

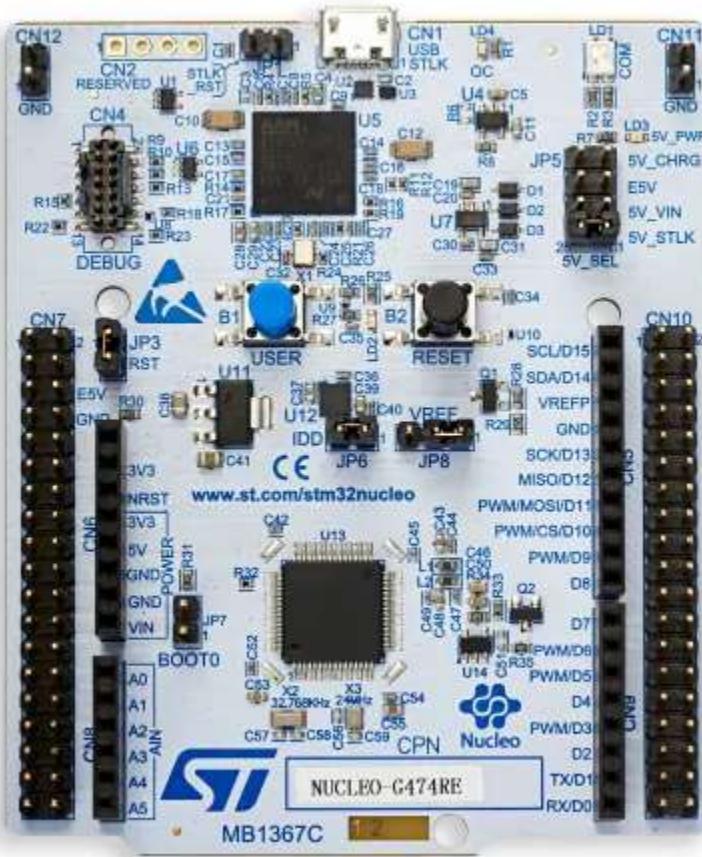
3.5.4 Encoder หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ (ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม) หรือวัดตำแหน่งความเร็ว และทิศทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่ง Encoder จะเปลี่ยนข้อมูลการเคลื่อนที่นั้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปประมวลผลต่อในระบบควบคุมต่าง ๆ

3.5.5 Incremental Encoder หมายถึง Encoder ที่ให้สัญญาณเป็นพัลส์ซึ่งสามารถนำมาใช้วัดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ความเร็ว และทิศทางของการหมุนหรือตำแหน่งสัมพันธ์ของวัตถุได้

### 3.6 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.6.1 Nucleo STM32G474RE

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ซึ่งสามารถในการควบคุมสัญญาณแบบอะนาล็อกและดิจิทัล และรองรับการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ ทำให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



รูปที่ Nucleo STM32G474RE

### 3.6.2 Incremental Encoder

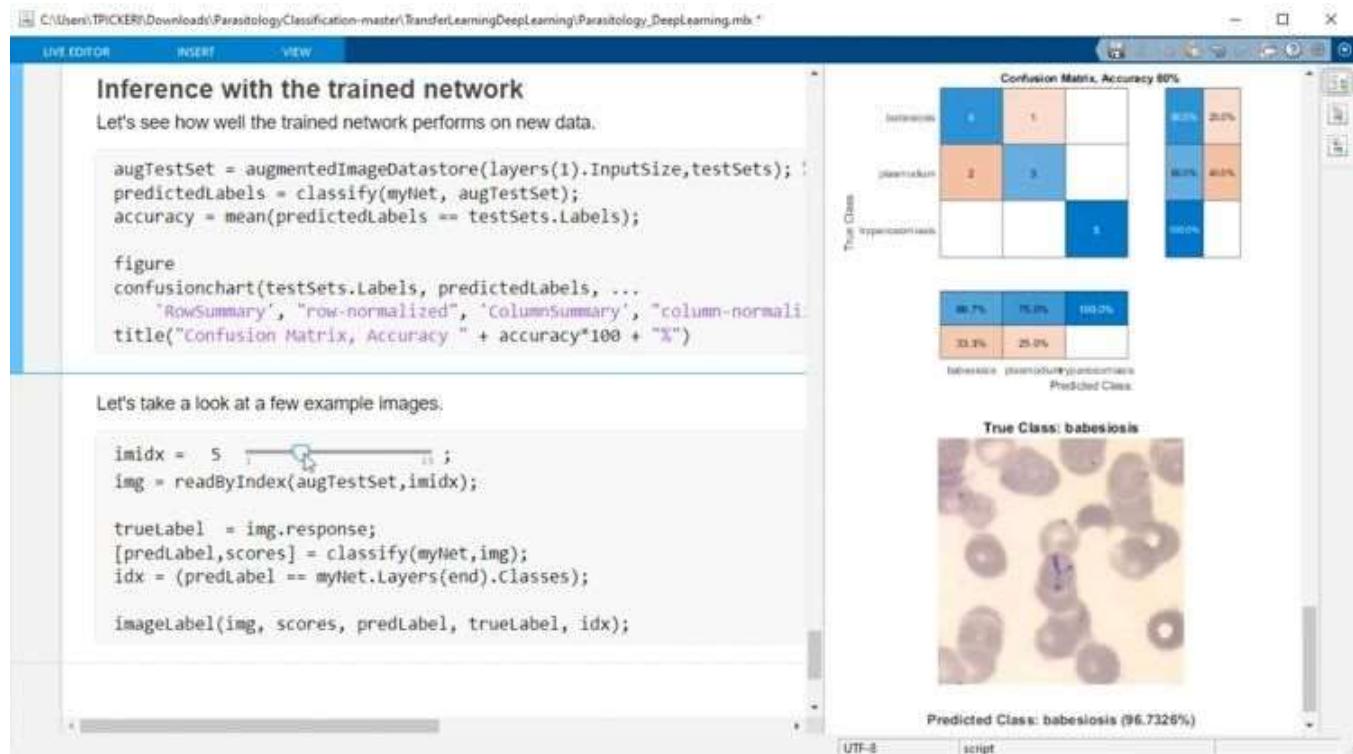
คือประเภทหนึ่งของ Encoder ที่ให้สัญญาณเป็นพัลส์ (pulses) ซึ่งสามารถนำมาใช้วัดการเปลี่ยนแปลง ตำแหน่ง ความเร็ว และทิศทางของการหมุนหรือตำแหน่งสัมพันธ์ (Relative Position) ของวัตถุได้ แต่ไม่ สามารถบอกตำแหน่งสัมบูรณ์ (Absolute Position) ของวัตถุได้โดยตรง



รูปที่ Incremental Encoder

### 3.6.3 MATLAB

คือโปรแกรมซอฟต์แวร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข การประมวลผลข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมระบบ อัตโนมัติ



รูปที่ MATLAB

### 3.6.4 Simulink

เป็นเครื่องมือเสริมของ MATLAB ซึ่งใช้สำหรับการสร้างและจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมและระบบพลศาสตร์ผ่าน การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming) โดยผู้ใช้สามารถสร้างแผนผังบล็อกได้อะแกรมเพื่อจำลองระบบที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย เช่น ระบบควบคุม, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า, และระบบไฮบริดต่าง ๆ



รูปที่ Simulink

### 3.5.5 Incremental Encoder AMT103-V

ตารางแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Incremental Encoder AMT103-V

## ELECTRICAL

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
power supply	VDD	3.6	5	5.5	V
current consumption	with unloaded output		8		mA
output high level		VDD-0.8			V
output low level			0.4		V
output current	CMOS sink/source per channel		2		mA
rise/fall time		30			ns

## INCREMENTAL CHARACTERISTICS

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
channels	quadrature A, B, and X index				
waveform	CMOS voltage square wave				
phase difference	A leads B for CCW rotation [viewed from front]		90		degrees
quadrature resolutions <sup>1</sup>	48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 258, 384, 400, 500, 512, 800, 1000, 1024, 2048				PPR
index <sup>2</sup>	one pulse per 360 degree rotation				
accuracy		0.25			degrees
quadrature duty cycle [at each resolution]	256, 512, 1024, 2048 48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 384, 400, 500 800, 1000	49 47 43	50 50 50	51 53 56	%

Notes:  
 1. Resolution selected via adjustable DIP switch, pre-set to 2048 PPR. All resolutions are listed as pre-quadrature, meaning the final number of counts is PPR x 4.

2. Some stepper motors may leak a magnetic field causing the AMT index pulse to not function properly (non-magnetic version available with 8 pulses per revolution).

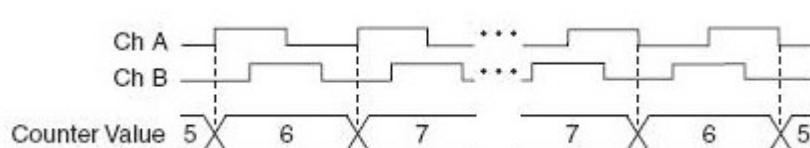
รูปที่

### 3.6.6 Quadrature encoder

คือประเภทของ Incremental Encoder ที่สร้างสัญญาณออกมาระบบสองชุด ซึ่งเรียกว่า สัญญาณช่อง A และช่อง B ทั้งสองสัญญาณนี้ถูกออกแบบให้มีเฟสเหลื่อมกัน 90 องศา (Quadrature Phase) เพื่อให้สามารถตรวจจับทั้งตำแหน่งและทิศทางของการหมุนได้ โดยหลักการทำงานของ Quadrature Encoder คือการสร้างพัลส์ (Pulse) ต่อการหมุนที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดตั้ง Encoder อยู่

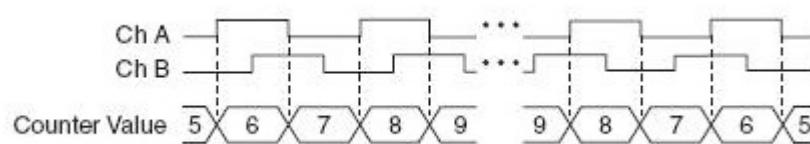
การวัดความละเอียดของตำแหน่งและความเร็วสามารถทำได้ด้วย X1, X2, และ X4 Encoding:

X1 Encoding: นับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงขั้นของสัญญาณช่อง A



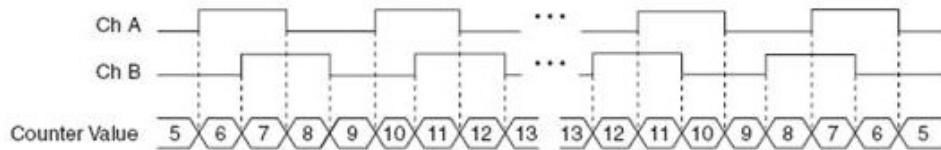
รูปที่ X1 Encoding

X2 Encoding: นับพัลส์ทั้งขาขึ้นและขาลงของช่อง A ทำให้ความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า



รูปที่ X2 Encoding

X4 Encoding: นับพัลส์ทั้งขาขึ้นและขาลงของหง้วง A และ B ทำให้ความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงสี่เท่า



รูปที่ X4 Encoding

### 3.7 วิธีดำเนินการทดลอง

3.7.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Incremental Encoder

3.7.2 เชื่อมต่อตัว Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด STM32

3.7.3 เชื่อมบอร์ด STM32 เข้ากับคอมพิวเตอร์

3.7.4 กำหนดค่าบอร์ดควบคุมใช้ STM32CubeMX เพื่อกำหนดค่าขา GPIO ที่เชื่อมต่อกับ Encoder

3.7.5 สร้างแบบจำลองใน Simulink สำหรับการอ่านค่าจาก Encoder ทั้ง 2 แบบคือ QEI Method และ Polling Method อ่านแบบ X1,X2,X4 โดยใช้บล็อกที่เกี่ยวข้อง

3.7.6 ใช้ MATLAB Function สำหรับการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจาก Encoder เช่น การคำนวณตำแหน่ง, ความเร็ว และการสร้างกราฟแสดงผล

3.7.7 การเขียนโปรแกรมเพื่อทำ Homing Incremental Encoder

3.7.8 ทดสอบและการเก็บข้อมูลและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

### 3.8 วัสดุอุปกรณ์

3.8.1 Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน

3.8.2 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน

3.8.3 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด

3.8.4 EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Incremental Encoder,

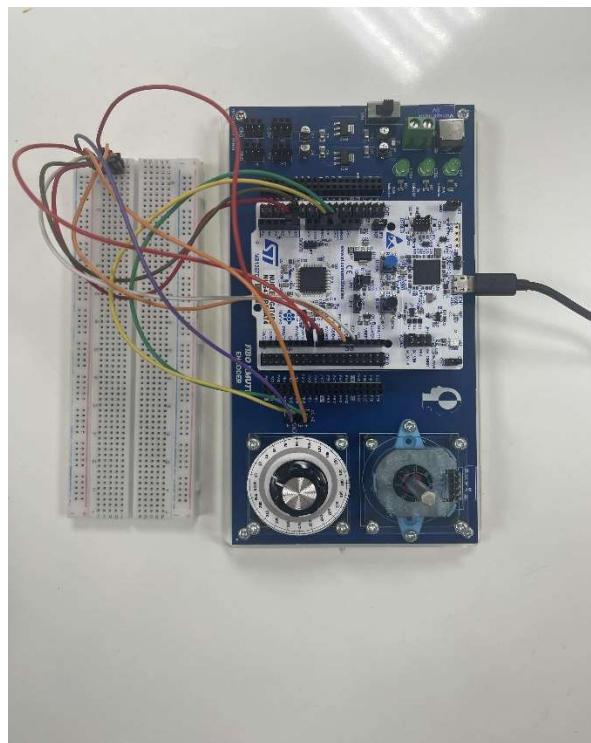
3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Incremental Encoder ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์

### 3.8.5 สายจัมเปอร์

## 3.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.9.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Incremental Encoder

### 3.9.2 เชื่อมต่อตัว Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด STM32 เชื่อมต่อช่องสัญญาณ A, B ของ Encoder กับขา GPIO ที่กำหนดบน STM32



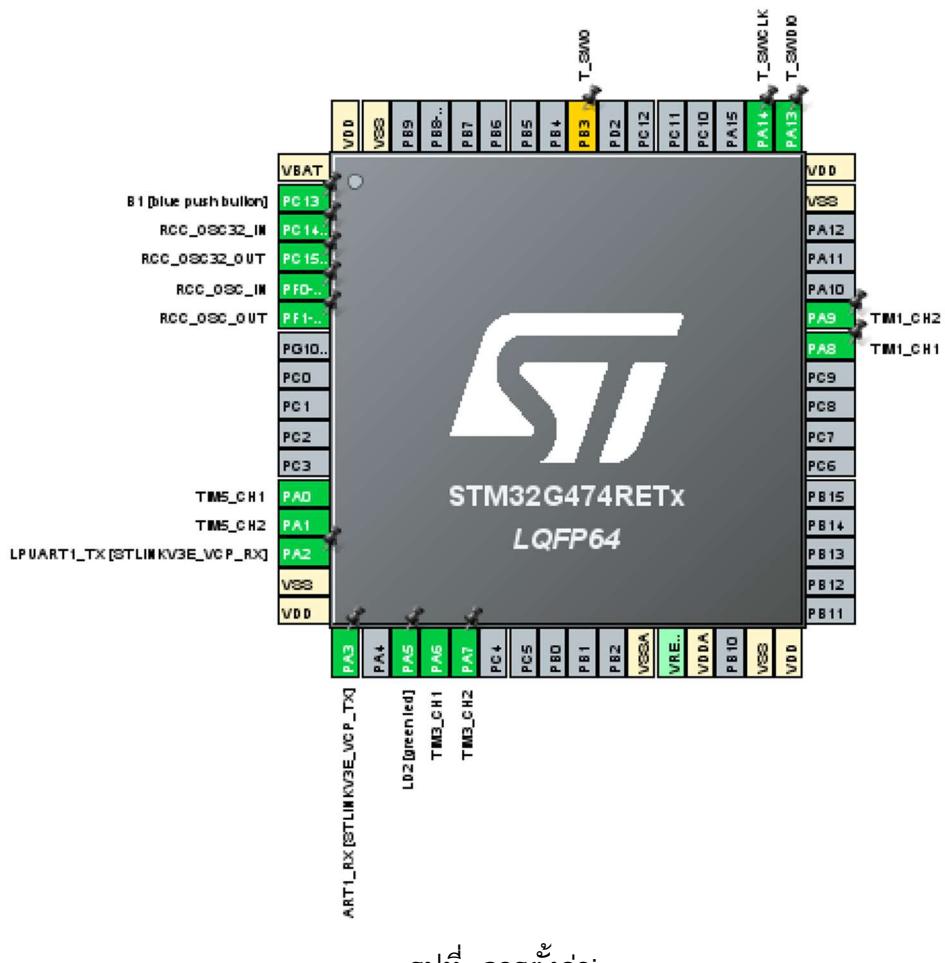
รูปที่ การต่อ Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด STM32

### 3.9.3 เชื่อมบอร์ด STM32 เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านสายอัปโหลด เพื่อส่งข้อมูลเข้า MATLAB

### 3.9.4 กำหนดค่าบอร์ดควบคุมใช้ STM32CubeMX เพื่อกำหนดค่าขา GPIO ที่เชื่อมต่อกับ Encoder

ตั้งขา PA6 , PA7 เป็น TIM5 อ่านค่าได้ 32 bit ขา PA8, PA9 เป็น TIM1 อ่านค่าได้ 16 bit

ขา PA0, PA1 เป็น TIM3 อ่านค่าได้ 16 bit



รูปที่ การตั้งค่าioc

Driver Selector

				A z↓	i
GPIO			LL		
DMA			LL		
RCC			LL		
> LPUART			LL		
> TIM			LL		

Generated Function Calls

Generate Code	Rank	Function Name	Peripheral Instance...	<input type="checkbox"/> Do Not Generate Function Call	<input type="checkbox"/> Visibility (Static)
✓	1	MX_GPIO_Init	GPIO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	2	MX_DMA_Init	DMA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	3	SystemClock_Config	RCC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	4	MX_LPUART1_UA...	LPUART1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	5	MX_TIM3_Init	TIM3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	6	MX_TIM1_Init	TIM1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	7	MX_TIM5_Init	TIM5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

รูปที่ Advanced Setting

**TIM1 Mode and Configuration**

**Mode**

Slave Mode: Disable

**Configuration**

Reset Configuration

NVIC Settings     DMA Settings     GPIO Settings

Parameter Settings     User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

**Counter Settings**

- Prescaler (PSC - 16 bits v... 0)
- Counter Mode Up
- Dithering Disable
- Counter Period (AutoRelo... 65520)
- Internal Clock Division (C... No Division)
- Repetition Counter (RCR -... 0)
- auto-reload preload Disable

**Trigger Output (TRGO) Parameters**

- Master/Slave Mode (MSM... Disable (Trigger input effect not dela...))
- Trigger Event Selection T... Reset (UG bit from TIMx\_EGR)
- Trigger Event Selection T... Reset (UG bit from TIMx\_EGR)

**Encoder**

- Encoder Mode Encoder Mode x1\_TI1
- Slave Mode Preload Activ... Disable
- Parameters f...

**Pinout view** **System view**

รูปที่ การตั้งค่า TIM1

**TIM3 Mode and Configuration**

**Mode**

Slave Mode: Disable

**Configuration**

Reset Configuration

NVIC Settings     DMA Settings     GPIO Settings

Parameter Settings     User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

**Counter Settings**

- Prescaler (PSC - 16 bits v... 0)
- Counter Mode Up
- Dithering Disable
- Counter Period (AutoRelo... 65520)
- Internal Clock Division (C... No Division)
- auto-reload preload Disable

**Trigger Output (TRGO) Parameters**

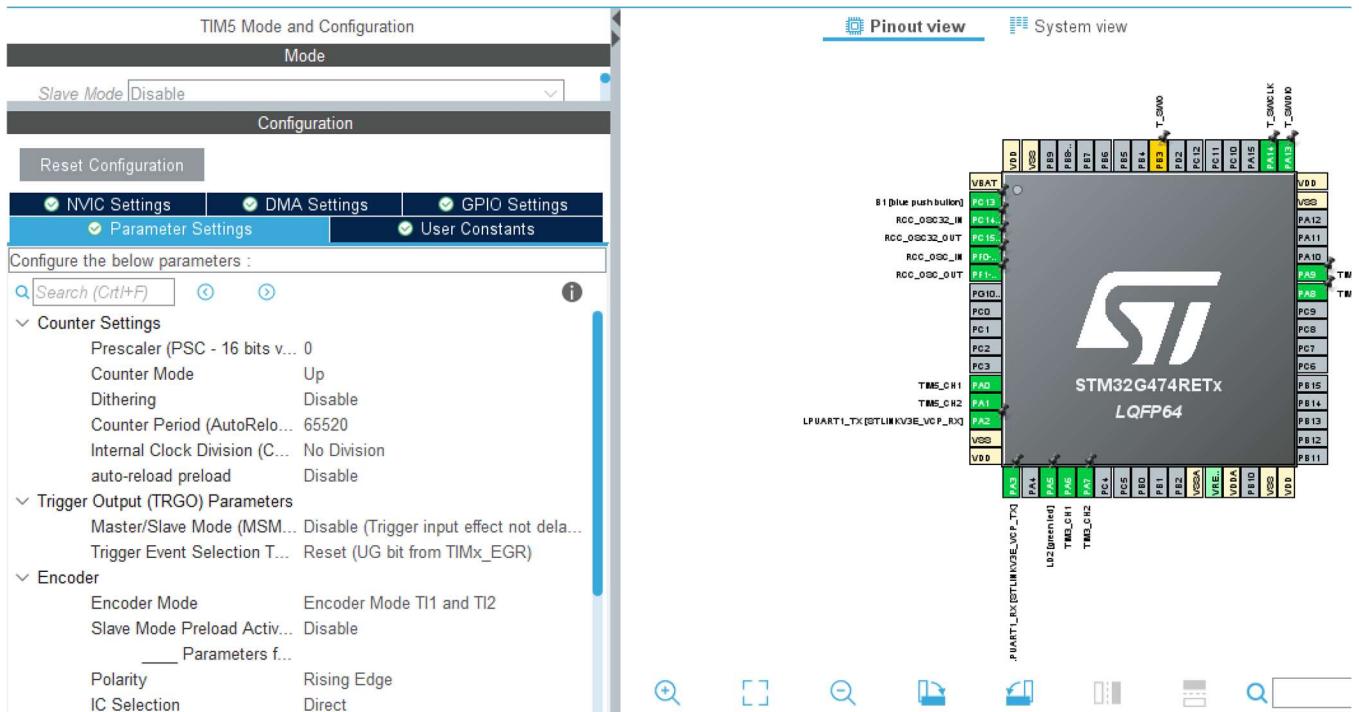
- Master/Slave Mode (MSM... Disable (Trigger input effect not dela...))
- Trigger Event Selection T... Reset (UG bit from TIMx\_EGR)

**Encoder**

- Encoder Mode Encoder Mode TI1
- Slave Mode Preload Activ... Disable
- Parameters f...
- Polarity Rising Edge
- IC Selection Direct

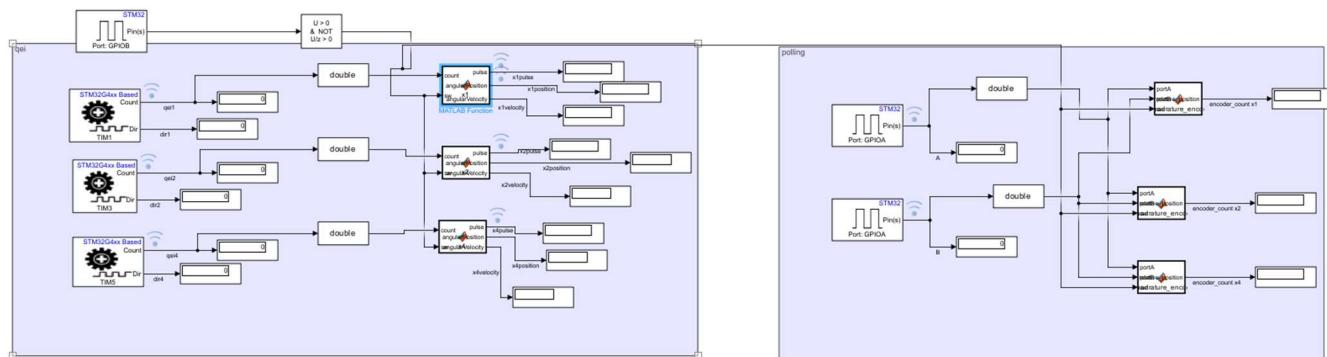
**Pinout view** **System view**

รูปที่ การตั้งค่า TIM3

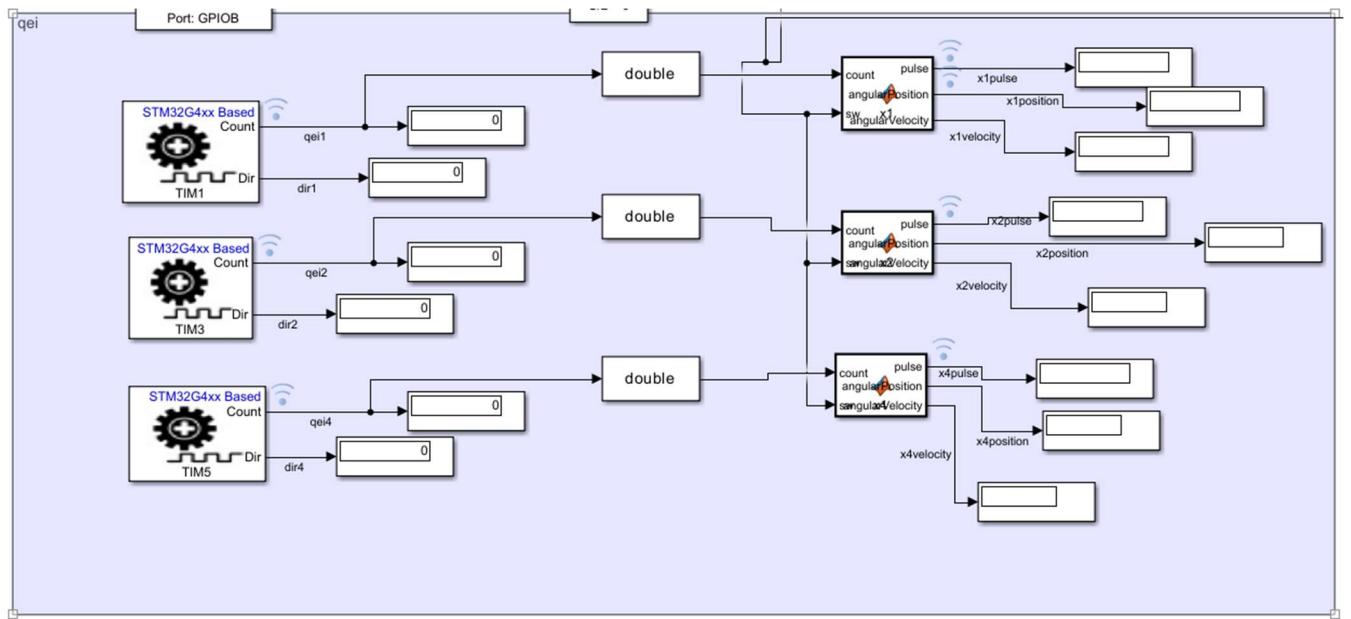


รูปที่ การตั้งค่า TIM5

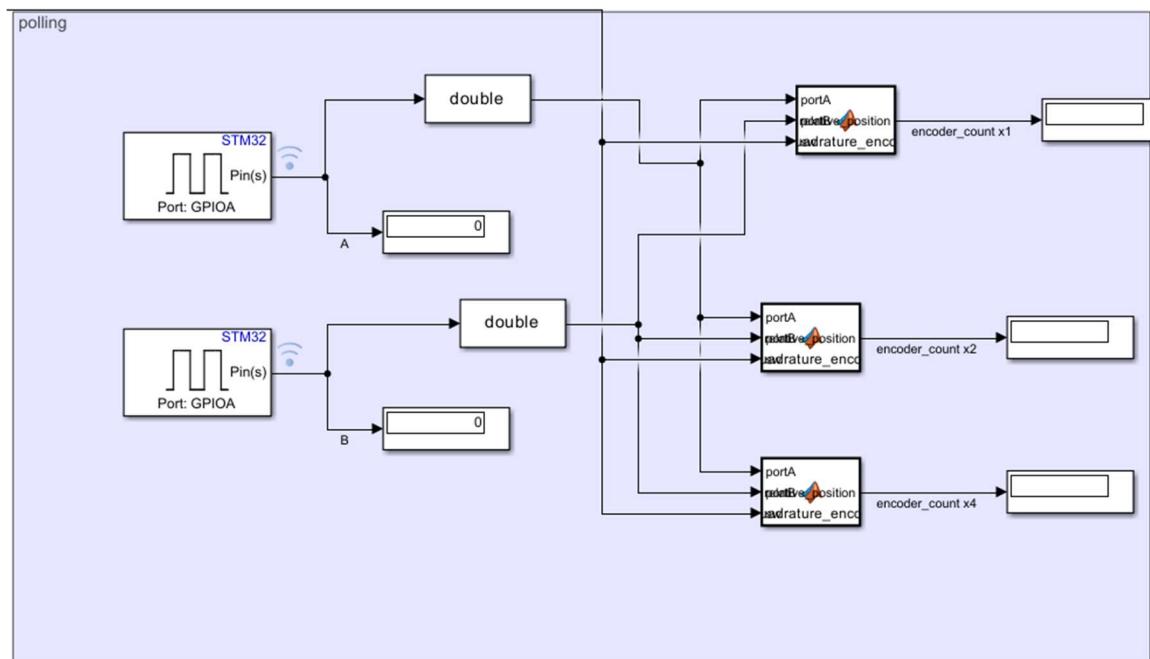
3.9.5 สร้างแบบจำลองใน Simulink สำหรับการอ่านค่าจาก Encoder ทั้ง 2 แบบคือ QEI Method และ Polling Method อ่านแบบ X1,X2,X4 โดยใช้บล็อกที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ ภาพรวมของ Simulink



รูปที่ 5 Simulink ในส่วนของ QEI Method



รูปที่ 6 Simulink ในส่วนของ Polling Method

3.9.6 ใช้ MATLAB Function สำหรับการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจาก Encoder เช่น การคำนวณตำแหน่ง, ความเร็ว และการสร้างกราฟแสดงผล

3.9.6.1 โดยดูส่วนนี้คือการกันໄไม่ให้ RAW Singal เมื่อบิด Encoder ในกรณีเมื่อบิดคร่าลงไปต่ำกว่า 0 กราฟจะเด้งไป 6 หมื่นกว่า

```
function [pulse,angularPosition,angularVelocity] = x1(count, sw)
    persistent mem;
    persistent pulses;
    persistent theta;
    persistent be_theta;
    if sw == 1
        pulses = 0;
    end
    if isempty(pulses)
        pulses = 0;
        mem = 0;
        theta = 0;
        be_theta = 0;
    end
    if (count-mem>32000)
        pulses = pulses - 1;
    end
    if (count-mem == 1)
        pulses = pulses + 1;
    end
    if (count-mem == -1)
        pulses = pulses - 1;
    end
    theta = ((pulses * pi)/24);
    angularVelocity = (theta - be_theta)/0.01;
    angularPosition = theta;
    mem=count;
    pulse = pulses;
    be_theta = theta;
end
```

รูปที่ MATLAB Function ในส่วนของ QEI Method

### 3.9.6.2 โค้ดส่วนนี้คือการหา Angular Position, Angular Velocity

โดยเริ่มจากการหา PPR และนำไปหา Resolution

$$res = \frac{2\pi}{PPR}$$

โดย  $res = \text{Resolution}$

$PPR = \text{จำนวน Pulses ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุนครบ } 1 \text{ รอบ}$

นำ Resolution ไปหา Angular Position ต่อ

$$\theta = res \times n_{pulses}$$

โดย  $\theta = \text{Angular Position}$

$n_{pulses} = \text{จำนวน Pulses ที่เกิดขึ้นจากการหมุน}$

$res = \text{Resolution}$

นำ Resolution ไปหา Angular Velocity ต่อ

$$\omega = res \times \frac{d}{dt} n_{pulses}$$

โดย  $\omega = \text{Angular Velocity}$

$n_{pulses} = \text{จำนวน Pulses ที่เกิดขึ้นจากการหมุน}$

$res = \text{Resolution}$

MATLAB Function Editor showing the code for the QEI Method. The code defines a function `qei_read` that reads pulse counts from two ports (portA and portB) and calculates angular position and velocity. Two specific sections of the code are highlighted with red boxes:

```

function [pulse,angularPosition,angularVelocity] = qei_read(count, sw)
    persistent mem;
    persistent pulses;
    persistent theta;
    persistent be_theta;
    if sw == 1
        pulses = 0;
    end
    if isempty(pulses)
        pulses = 0;
        mem = 0;
        theta = 0;
        be_theta = 0;
    end
    if (count-mem>32000)
        pulses = pulses - 1;
    end
    if (count-mem == 1)
        pulses = pulses + 1;
    end
    if (count-mem == -1)
        pulses = pulses - 1;
    end
    theta = ((pulses*2*pi)/24);
    angularVelocity = (theta - be_theta)/0.01;
    angularPosition = theta;
    mem=count;
    pulse = pulses;
    be_theta = theta;
end

```

รูปที่ MATLAB Function ในส่วนของ QEI Method

MATLAB Function Editor showing the code for the Polling Method X1. The code defines a function `qei_read` that reads relative position from two ports (portA and portB) and updates a count variable. A section of the code is highlighted with a red box:

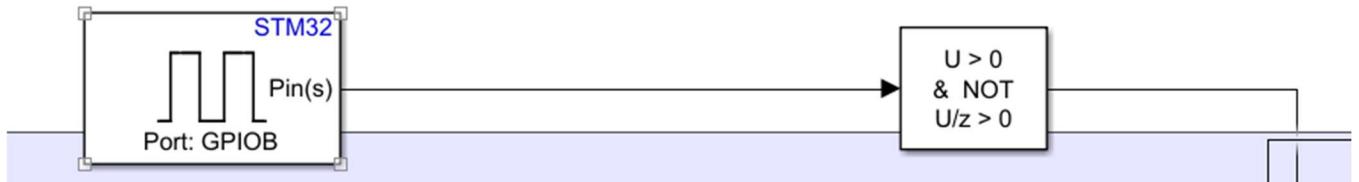
```

function relative_position = qei_read(portA, portB, sw)
    persistent last_A_count
    if sw == 1
        count = 0;
    end
    if isempty(count)
        last_A = 0;
        count = 0;
    end
    if (portA-last_A ~= 0 )
        if portA == 1 && portB == 1
            count = count - 1;
        end
        if portA == 0 && portB == 1
            count = count + 1;
        end
    end
    last_A = portA;
    relative_position = count;
end

```

รูปที่ MATLAB Function ในส่วนของ Polling Method X1

### 3.9.7 การเขียนโปรแกรมเพื่อทำ Homing Incremental Encoder



รูปที่ Simulink ในส่วนของ Homing Incremental Encoder

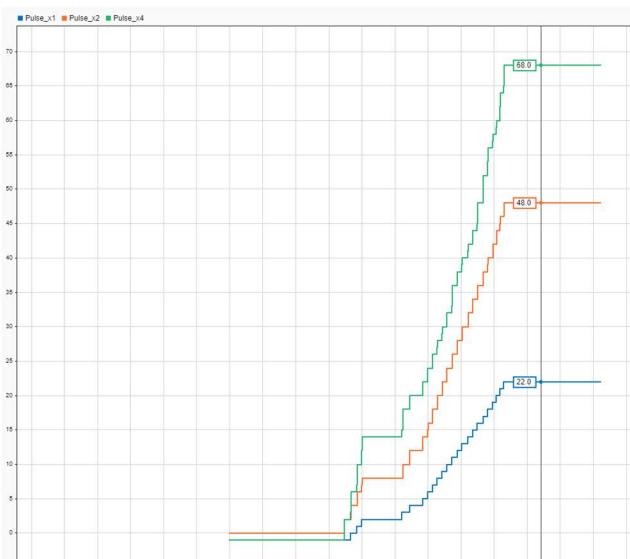
```
function [pulse,angularPosition,angularVelocity] = x1(count, sw)
persistent mem;
persistent pulses;
persistent theta;
persistent be_theta;
if sw == 1
    pulses = 0;
end
```

รูปที่ MATLAB Function ในส่วนของ Homing Incremental Encoder

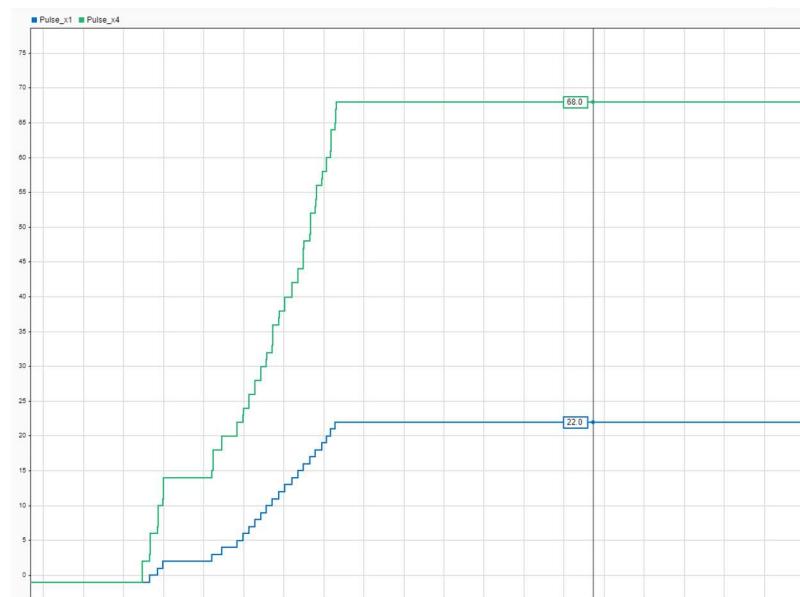
### 3.9.8 ทดสอบและการเก็บข้อมูลและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

#### 3.10 ผลการทดลอง

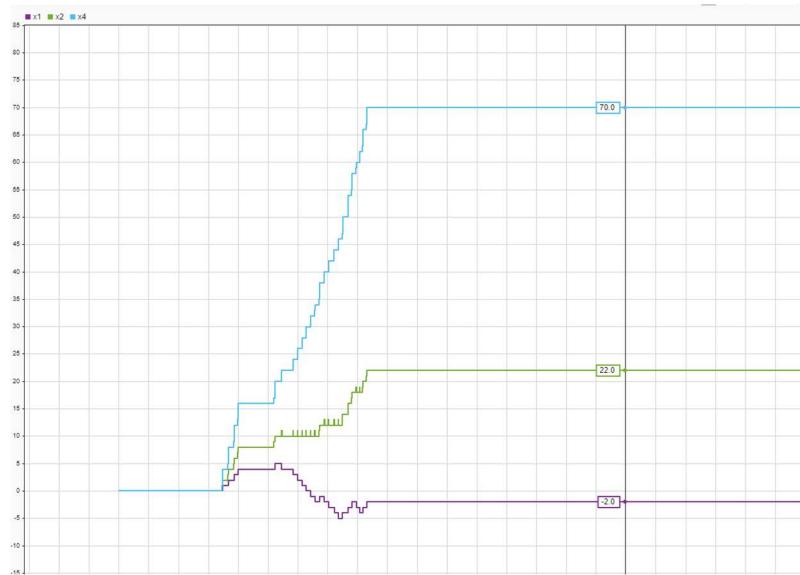
##### 3.10.1 Incremental Encoder 24 PPR



รูปที่ ค่า  $x_1, x_2, x_4$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



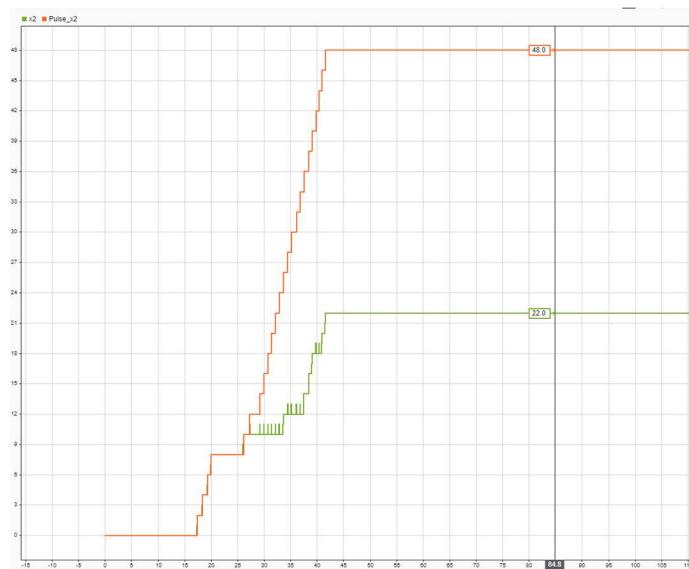
รูปที่ ค่า  $x_1, x_4$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



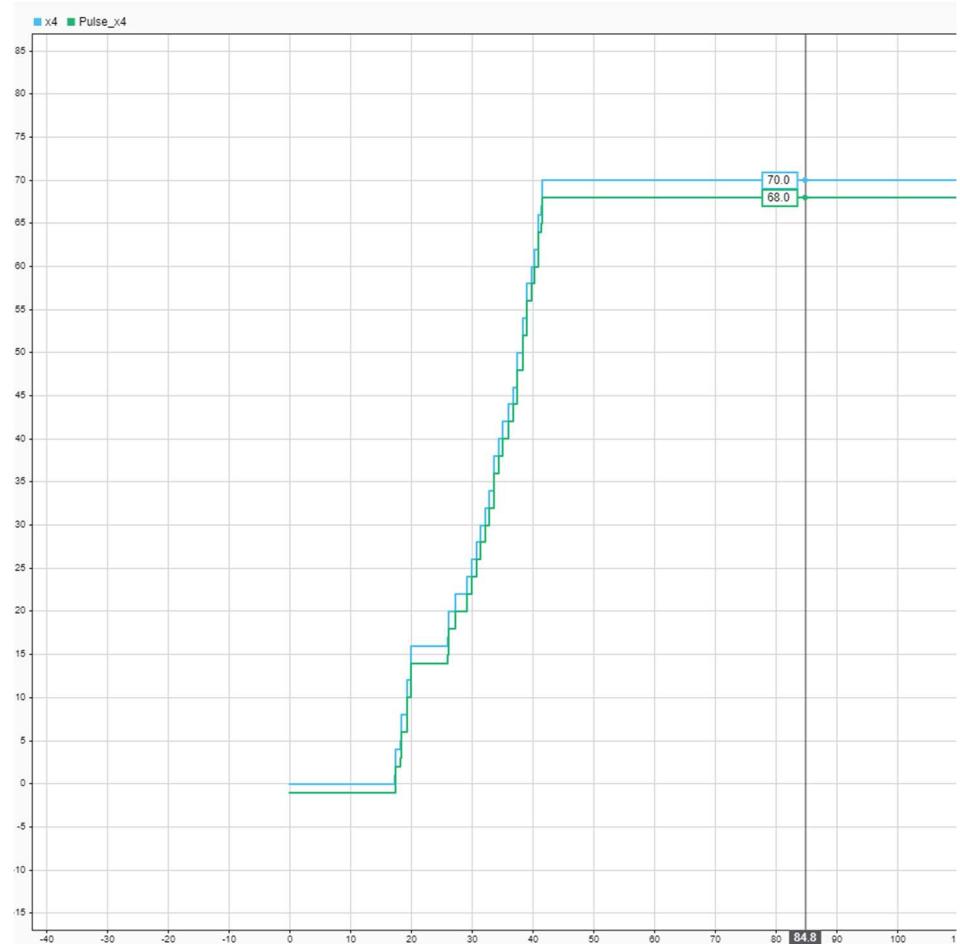
รูปที่ ค่า  $x_1, x_2, x_4$  ที่ได้จากการอ่านแบบ Polling



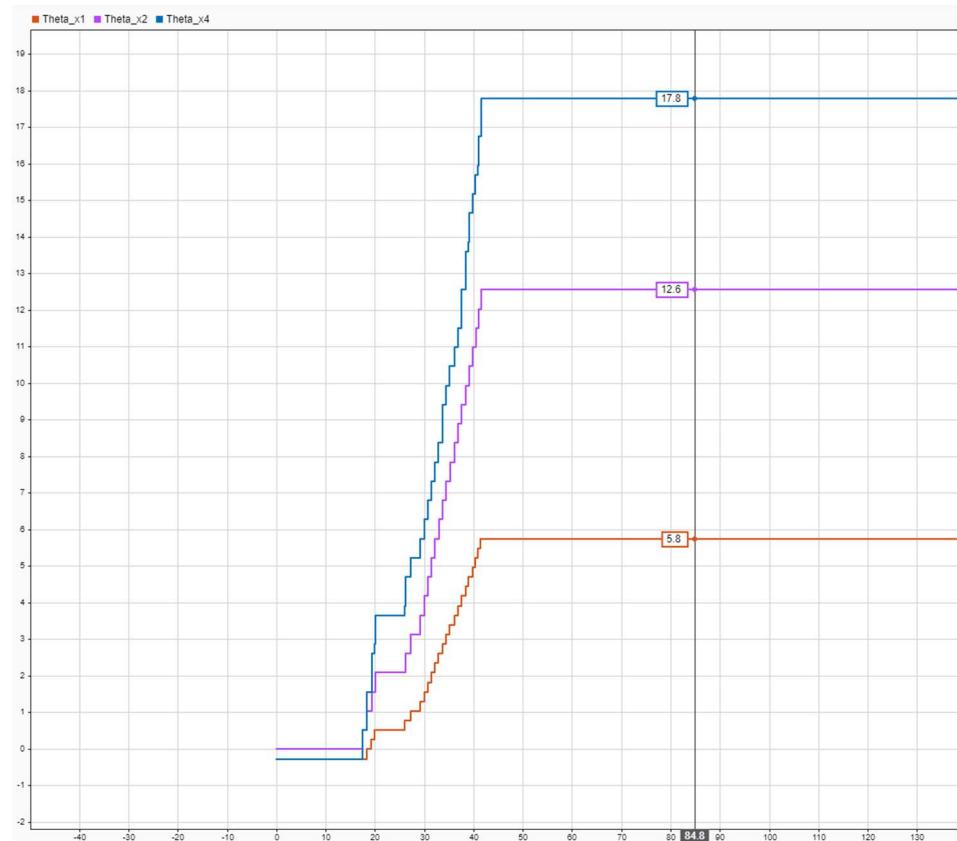
รูปที่ ค่า  $x_1$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เที่ยบ Polling



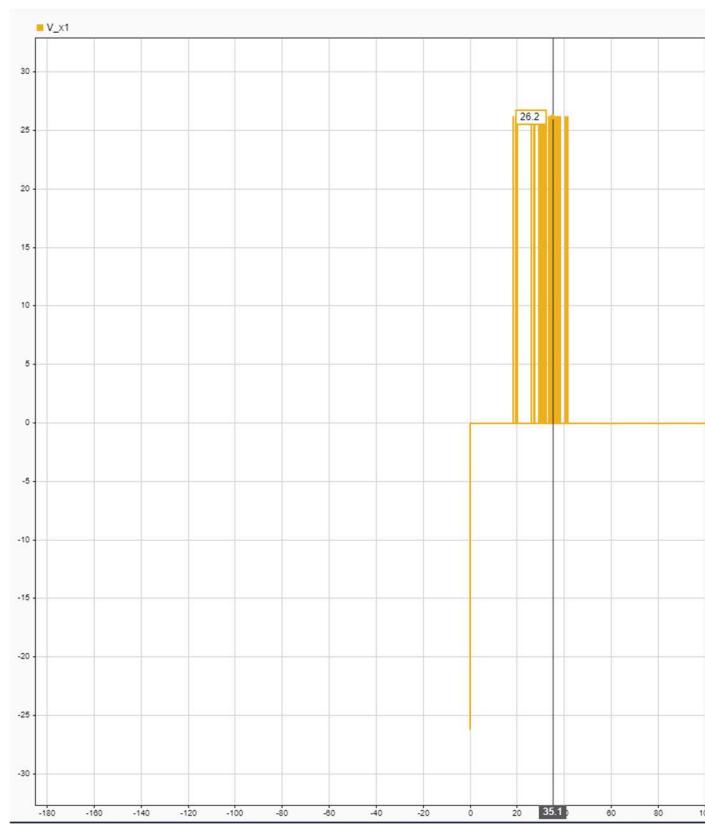
รูปที่ ค่า  $x_2$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เที่ยบ Polling



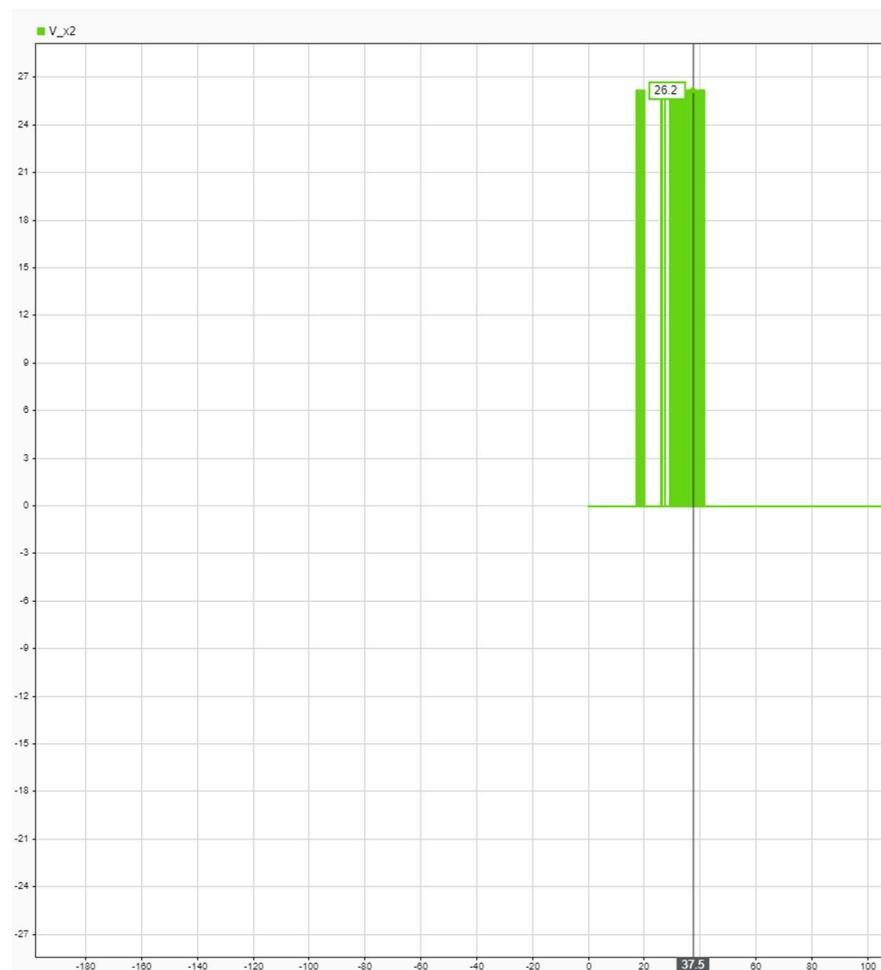
รูปที่ ค่า x4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เทียบ Polling



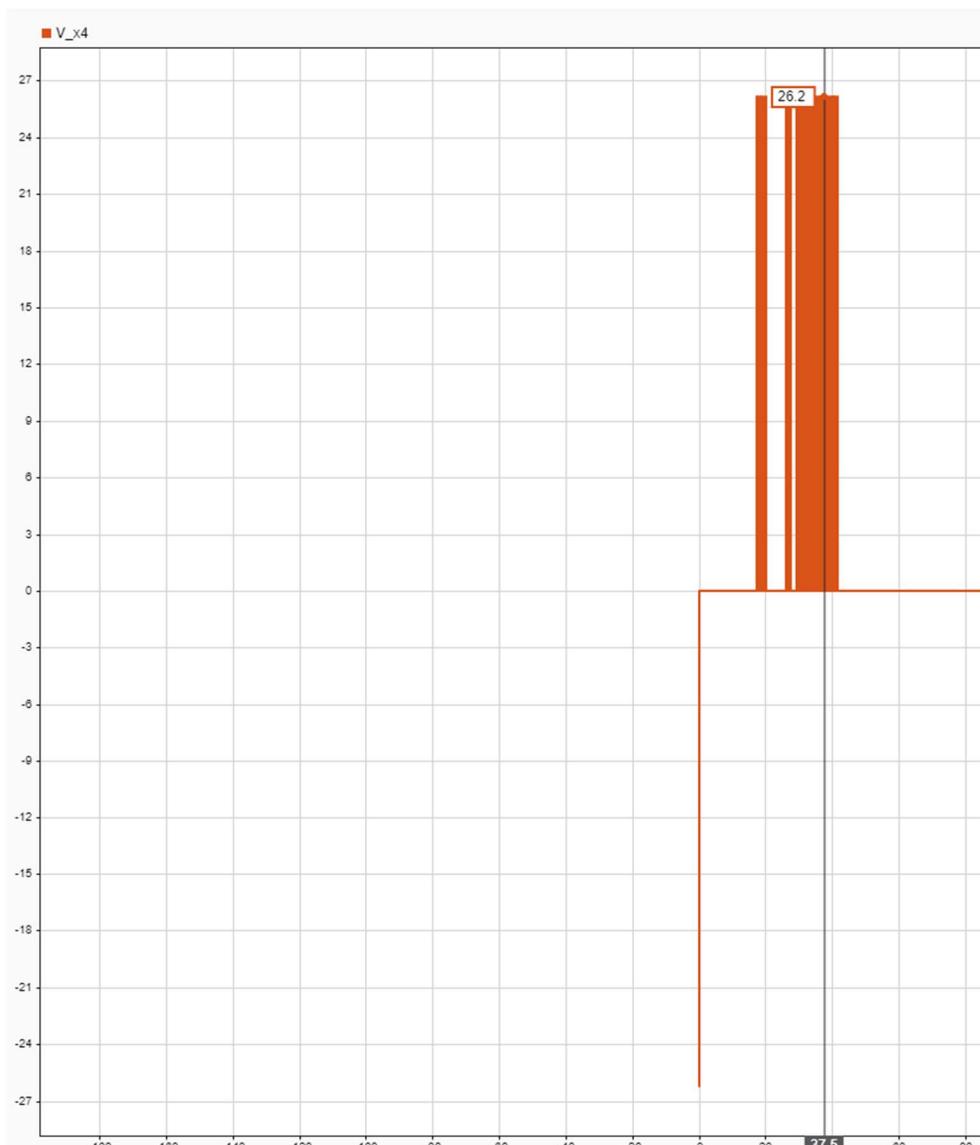
รูปที่ ค่า Angular Position X1,X2,X4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



รูปที่ ค่า Angular Velocity X1 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI

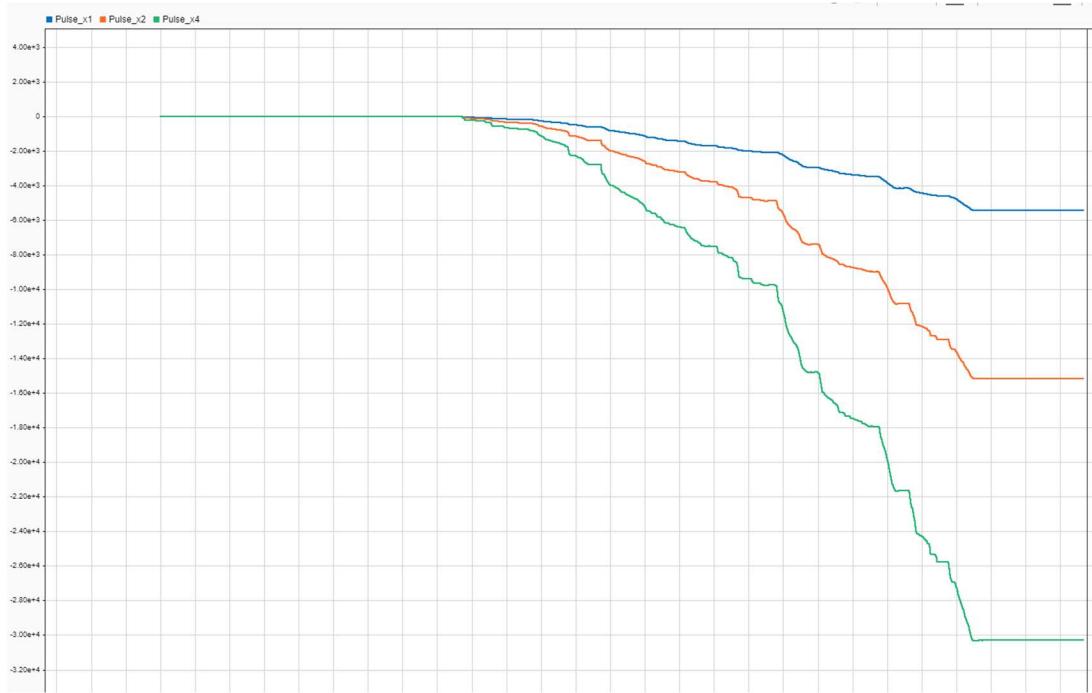


รูปที่ ค่า Angular Velocity X2 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI

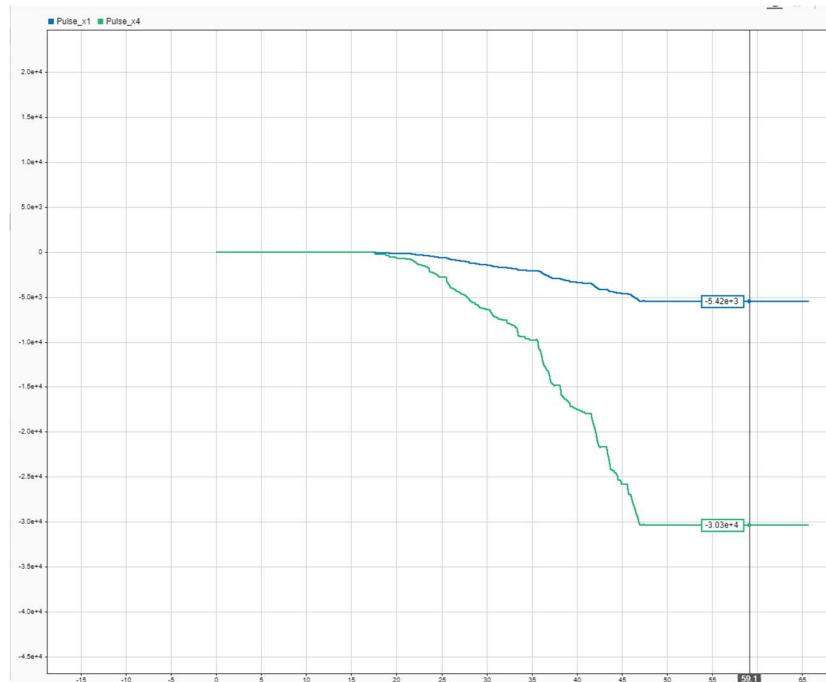


รูปที่ ค่า Angular Velocity X4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI

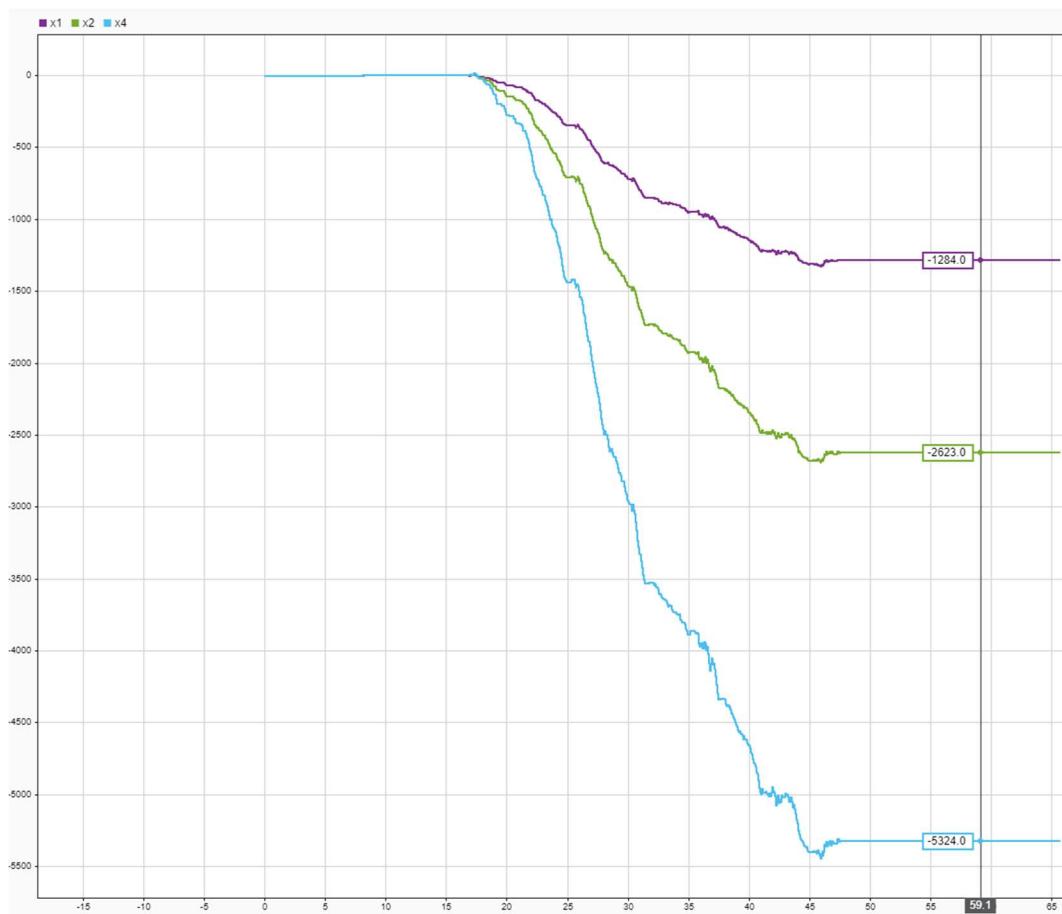
### 3.10.1 Incremental Encoder 2048 PPR



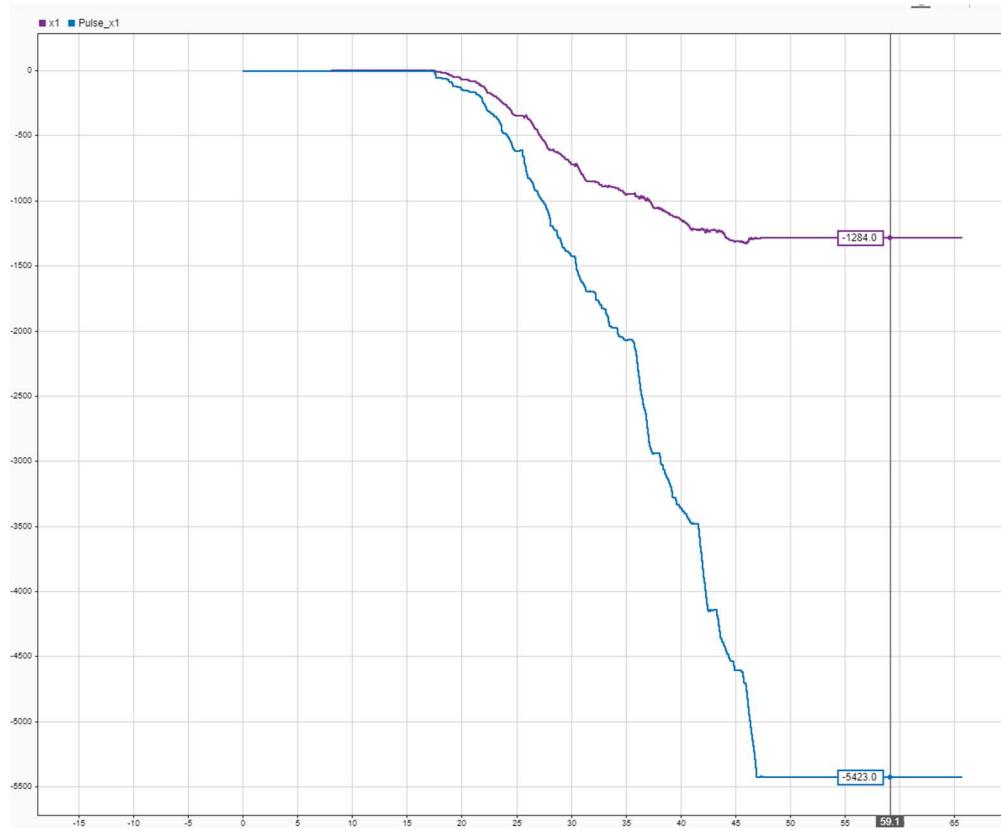
รูปที่ ค่า x1,x2,x4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



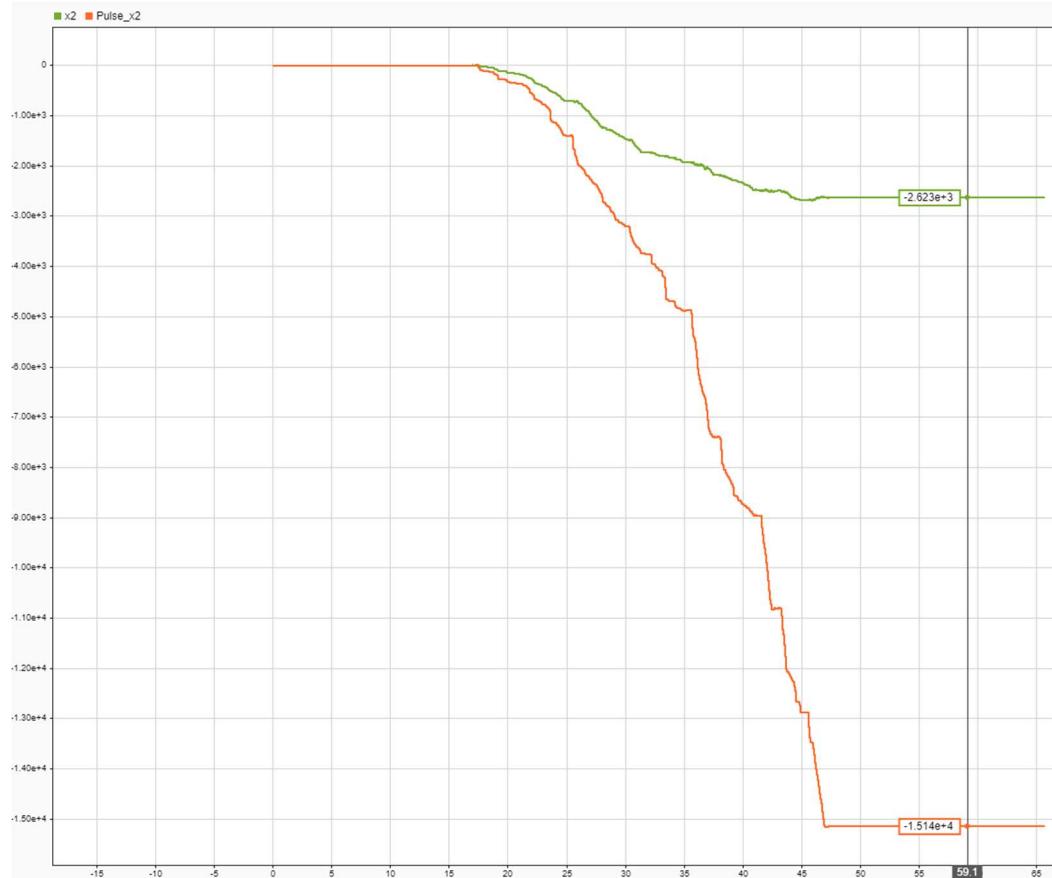
รูปที่ ค่า x1, x4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



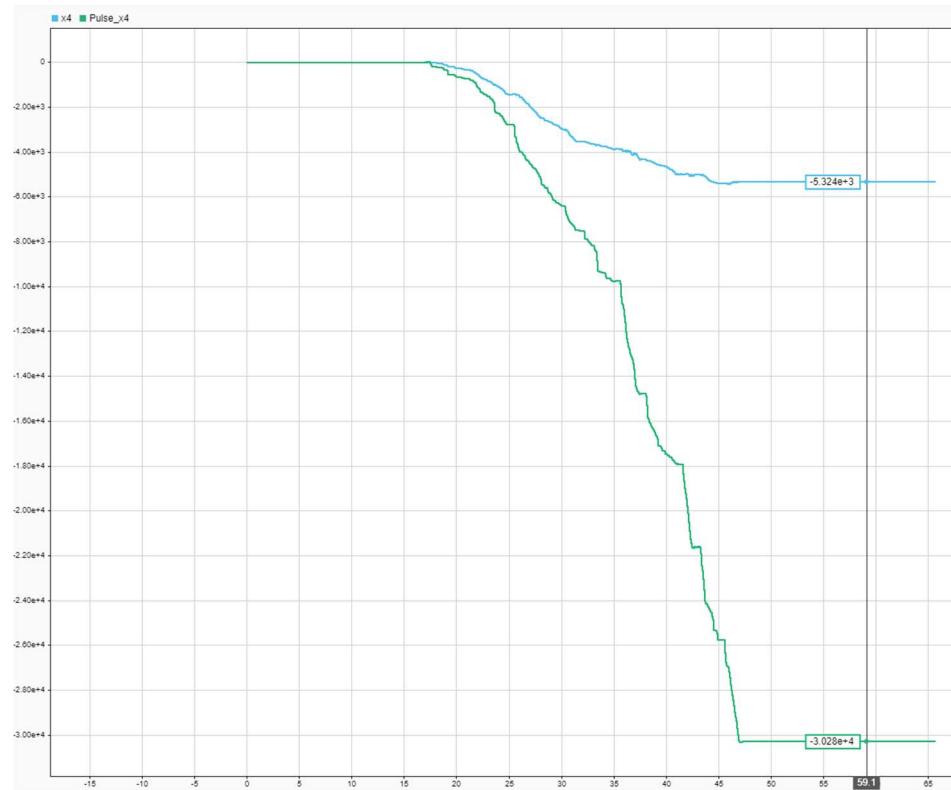
รูปที่ ค่า  $x_1, x_2, x_4$  ที่ได้จากการอ่านแบบ Polling



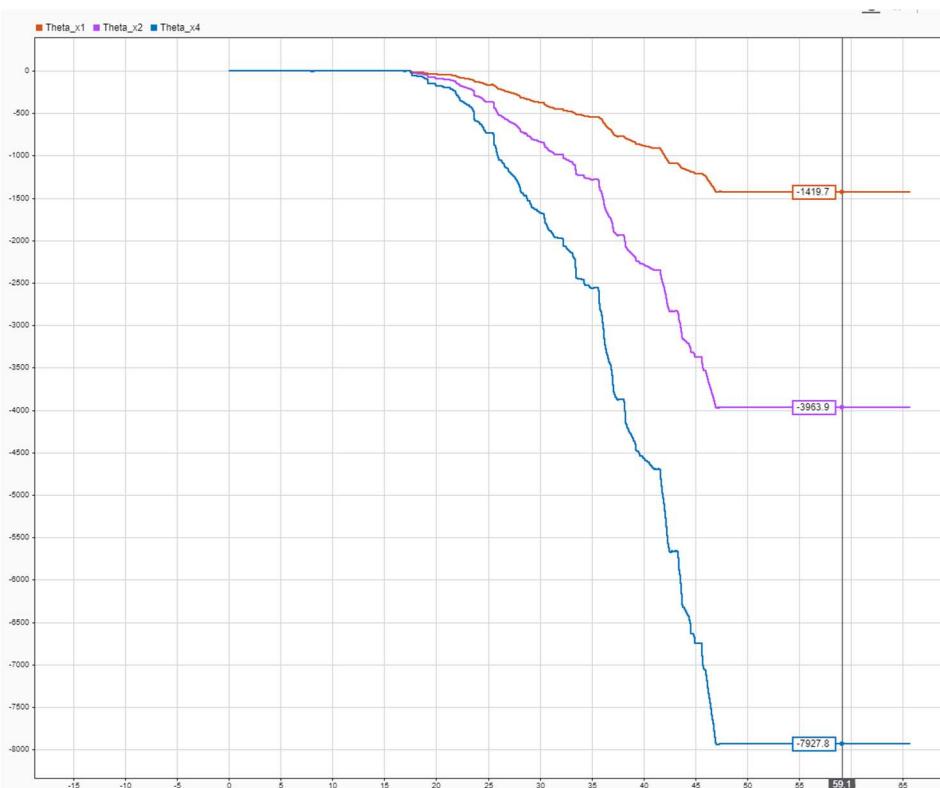
รูปที่ ค่า  $x_1$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เที่ยบ Polling



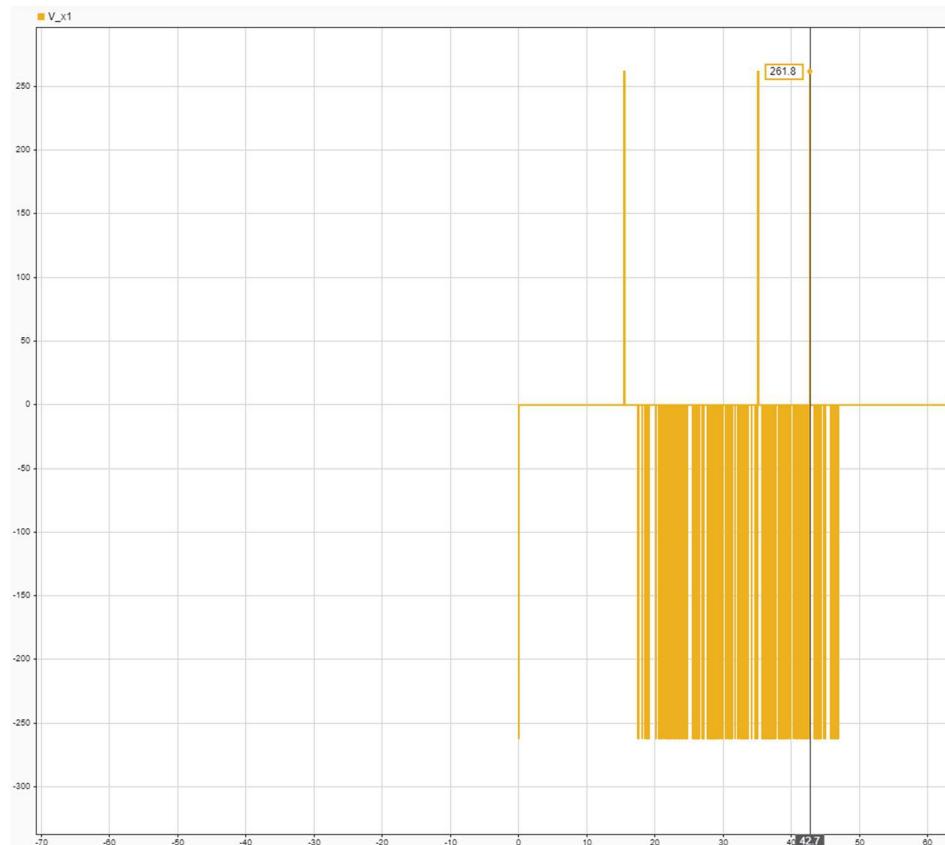
รูปที่ ค่า  $x_2$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เทียบ Polling



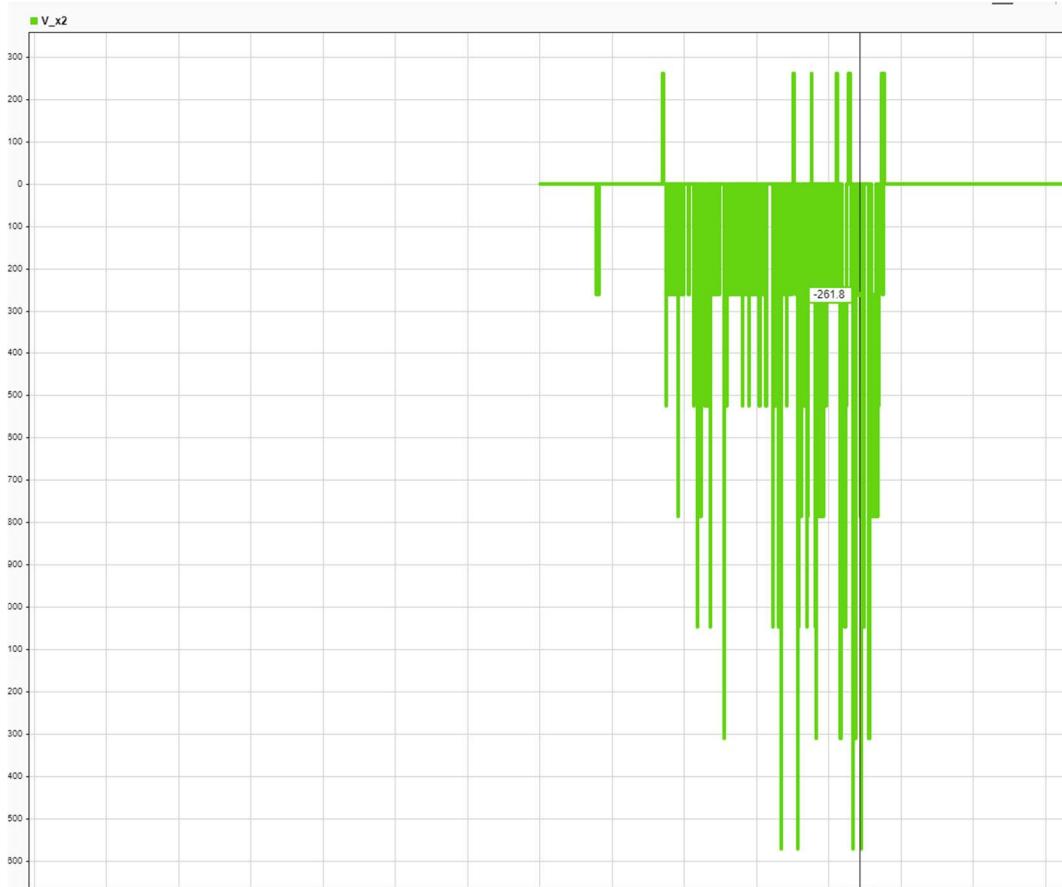
รูปที่ ค่า  $x_4$  ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI เทียบ Polling



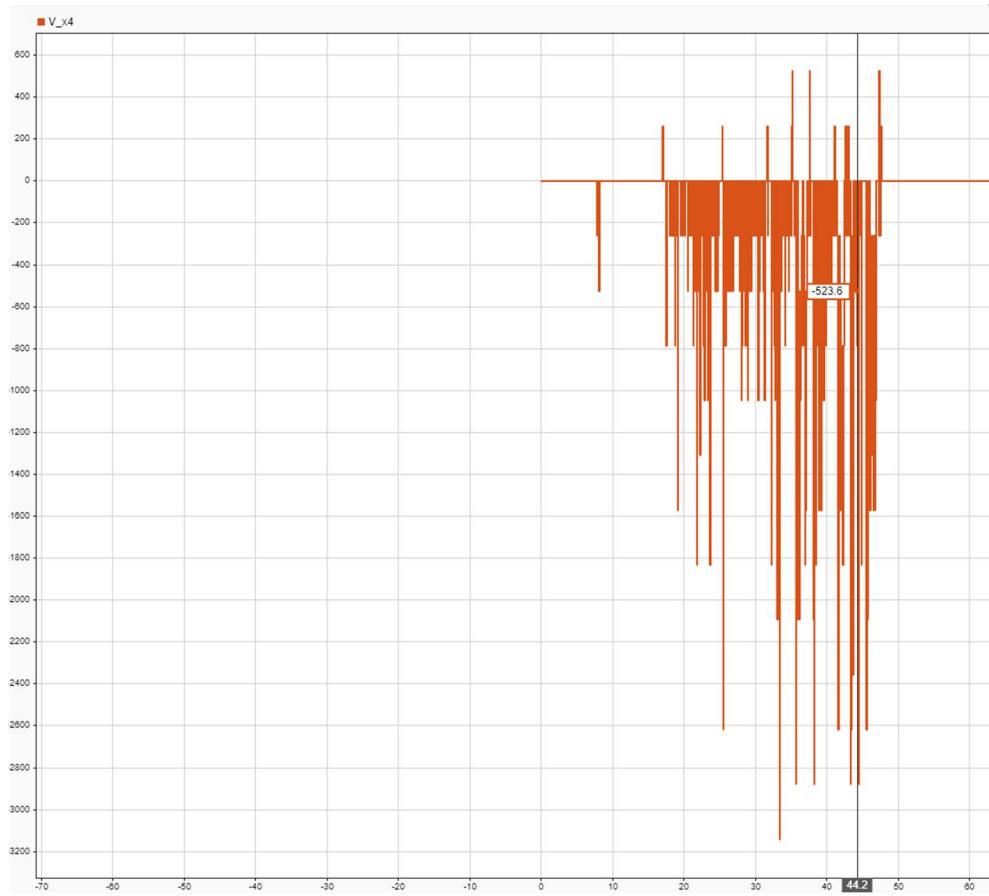
รูปที่ ค่า Angular Position X1,X2,X4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



รูปที่ ค่า Angular Velocity X1 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



รูปที่ ค่า Angular Velocity X2 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI



รูปที่ ค่า Angular Velocity X4 ที่ได้จากการอ่านแบบ QEI

### 3.11 สรุปผล

จากการทดลองพบว่าการอ่านแบบ QEI สามารถอ่านได้ไวกว่าแบบ Polling และ การอ่านค่าแบบ X4 สามารถอ่านค่าได้ละเอียดกว่าแบบ X2,X1

### 3.12 อกบิประยุผล

QEI Method สามารถอ่านค่า Encoder ได้อย่างแม่นยำโดยไม่สูญเสียสัญญาณ โดยเฉพาะในกรณีที่ Encoder หมุนด้วยความเร็วสูง การอ่านค่าผ่าน Timer ของ STM32 ที่ตั้งค่าในโหมด QEI สามารถวัดทิศทางและจำนวนพลั๊ส์ได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ส่วน Polling Method สามารถอ่านค่าพลั๊ส์ได้อย่างถูกต้องในกรณีที่ Encoder หมุนด้วยความเร็วต่ำหรือปานกลาง แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นมีโอกาสเกิดการขาดสัญญาณ เนื่องจากต้องพึ่งการเรียกอ่าน GPIO ซ้ำ ๆ ผ่านโปรแกรม ซึ่งทำให้ช้ากว่า QEI Method

การทำ Homing Incremental Encoder เมื่อนำมาบีบ reset ทำให้ค่า pulse ที่เก็บมากลายเป็น 0

การอ่านแบบ X4 "ได้ความละเอียดสูง เพราะว่าเป็นการอ่านนาฬิกาขึ้นลงของทั้ง A,B เหมาะสำหรับการวัดที่ต้องการความละเอียดสูงสุด เนื่องจากมีการนับพัลส์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ความละเอียดในการวัดที่แม่นยำกว่าโหมด X1 และ X2

### 3.13 ข้อเสนอแนะ

#### 3.13.1 ควรใช้วงจรป้องกันสัญญาณรบกวน

### 3.14 เอกสารอ้างอิง

#### 3.14.1 Quadrature Encoding X1 X2 X4

#### 3.14.2 <https://www.sameskydevices.com/product/resource/amt10.pdf>

#### 3.14.3 <https://www.geeksforgeeks.org/encoder-in-digital-logic/>

#### 3.14.4 <https://www.mathworks.com/help/matlab/>

#### 3.14.5 <https://www.mathworks.com/help/simulink/>

## การทดลองที่ 4 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

### 4.1 จุดประสงค์

4.1.1 เพื่อสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้

4.1.2 เพื่อสามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้ เมื่อ Magnetic Flux Density เป็นไปเปลี่ยนแปลง

4.1.3 เพื่อสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density

4.1.4 เพื่อเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสังเคราะห์รับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็น Input และแสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink และแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แบ่งเป็นสองส่วนตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Magnetic Flux Density ในหน่วย SI derived

### 4.2 สมมติฐาน

4.2.1 ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็กมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของ

4.2.2 ขั้วของแม่เหล็กส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าของ

### 4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 ตัวแปรต้น : ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับแม่เหล็ก, ขั้วของแม่เหล็ก, แผ่นป้องกันแม่เหล็ก

4.3.2 ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์

4.3.3 ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิ, แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย, ประเภทของแม่เหล็ก

### 4.4 นิยายศัพท์เฉพาะ

4.4.1 ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับแม่เหล็ก หมายถึง ระยะห่างที่เลื่อนแม่เหล็กให้ออกห่างจากเซ็นเซอร์เป็นระยะทางครั้งละ 1 มิลลิเมตร

4.4.2 STM32 หมายถึง Nucleo STM32G474RE

4.4.3 Hall Effect Magnetic Sensor หมายถึง DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

4.4.4 ระยะห่างที่เก็บค่าระหว่าง Hall Effect Magnetic Sensor หมายถึง ระยะตั้งแต่ 1 cm. ถึง 4.4 cm.

#### 4.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

4.5.1 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor หมายถึง เชนเซอร์ที่ใช้หลักการของ Hall Effect ใน การวัดความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) โดยให้อาร์พุตเป็นสัญญาณ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับฟลักซ์แม่เหล็กที่เข้ามา เชนเซอร์

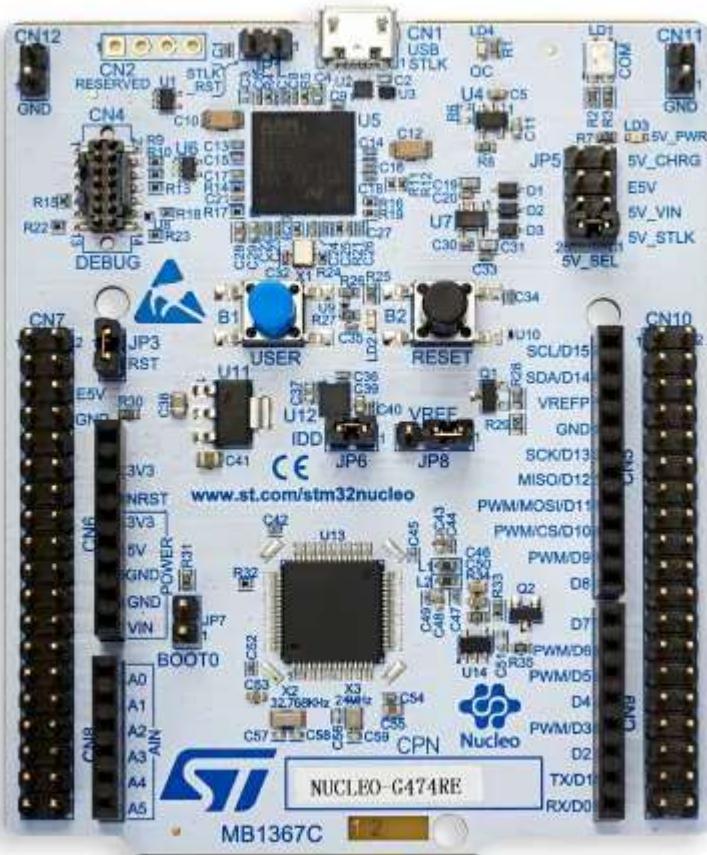
4.5.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) หมายถึง การวัดค่าโดยใช้แม่เหล็กที่มีความเข้มข้นเฉพาะและ วางที่ระยะห่างที่กำหนดจากเชนเซอร์ จากนั้นใช้มาตรวัดฟลักซ์แม่เหล็กเพื่อบันทึกค่าฟลักซ์แม่เหล็กใน หน่วย Tesla (T) ที่เชนเซอร์วัดได้ในระหว่างการทดลอง

4.5.3 Magnetic Field Shielding หมายถึง การลดหรือป้องกันการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กในพื้นที่หรือ บริเวณที่ต้องการป้องกัน โดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแม่เหล็ก (Magnetic Shielding Material) เพื่อเบี่ยงเบนหรือดูดซับฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ต้องการป้องกันได้ อย่างเต็มที่

#### 4.6 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 4.6.1 Nucleo STM32G474RE

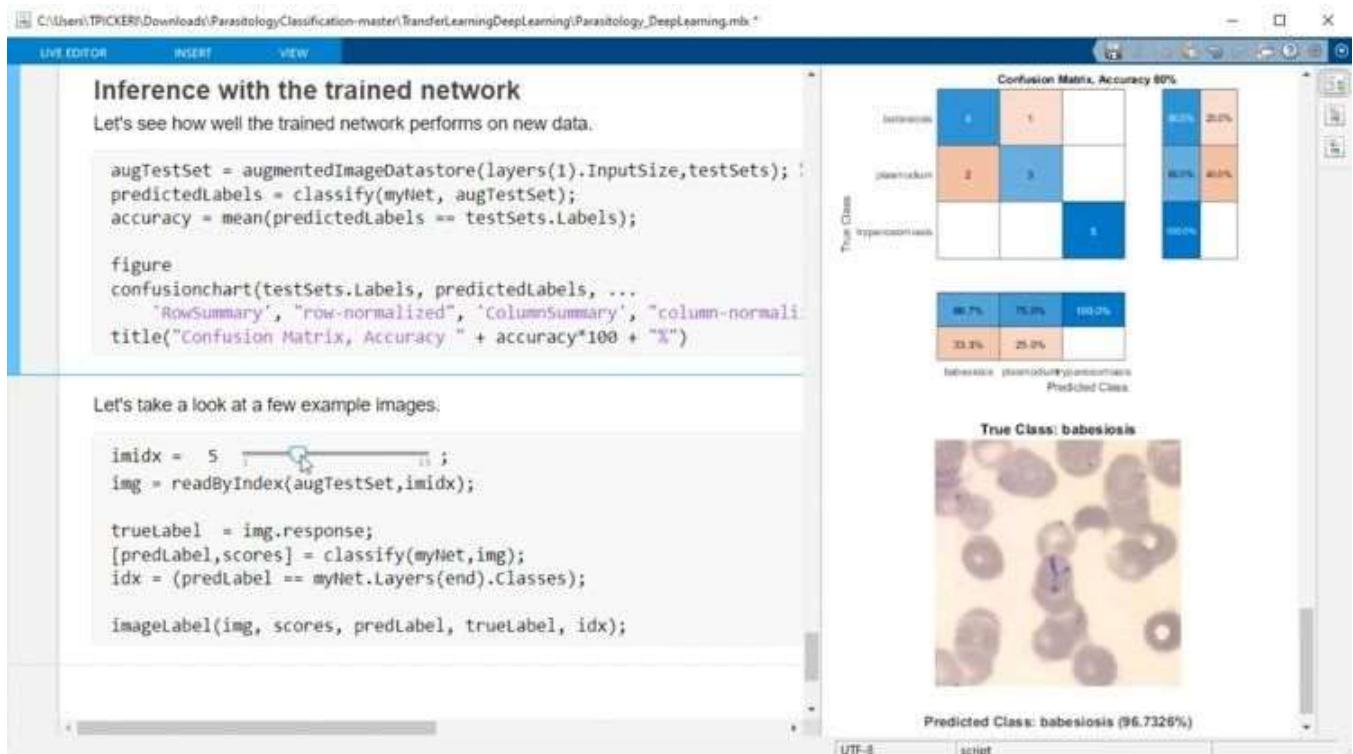
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ซึ่งสามารถในการควบคุมสัญญาณ แบบอะนาล็อกและดิจิทัล และรองรับการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ ทำให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



รูปที่ Nucleo STM32G474RE

#### 4.6.2 MATLAB

คือโปรแกรมซอฟต์แวร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข การประมวลผลข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมระบบ อัตโนมัติ



รูปที่ MATLAB

#### 4.6.3 Simulink

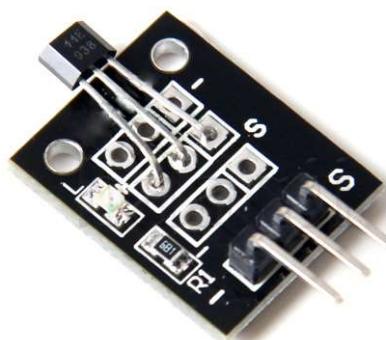
เป็นเครื่องมือเสริมของ MATLAB ซึ่งใช้สำหรับการสร้างและจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมและระบบพลศาสตร์ผ่าน การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming) โดยผู้ใช้สามารถสร้างแผนผังบล็อกได้ตามแกนเพื่อจำลองระบบที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย เช่น ระบบควบคุม, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า, และระบบไฮบริดต่าง ๆ



รูปที่ Simulink

#### 4.6.4 Hall Effect Magnetic Sensor

คือเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของ Hall Effect ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุในขณะที่มีสนามแม่เหล็กเข้ามากระทำ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (เรียกว่า Hall Voltage) ขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับทั้งทิศทางของกระแสและสนามแม่เหล็ก โดย Hall Effect Magnetic Sensor สามารถวัดแรงดันไฟฟ้านี้และแปลงเป็นสัญญาณเอาไว้เพื่อใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่อยู่รอบ ๆ



รูปที่ Hall Effect Magnetic Sensor

#### 4.6.5 DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

##### 4.6.5.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DRV5055

เป็นตารางที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางไฟฟ้าของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{CC}$	Operating supply current			6	10
$t_{ON}$	Power-on time (see Figure 7-4)	$B = 0$ mT, no load on OUT		175	330
$f_{BW}$	Sensing bandwidth			20	kHz
$t_d$	Propagation delay time	From change in B to change in OUT		10	μs
$B_{ND}$	Input-referred RMS noise density	$V_{CC} = 5$ V		130	$nT/\sqrt{Hz}$
		$V_{CC} = 3.3$ V		215	
$B_N$	Input-referred noise	$B_{ND} \times 6.6 \times \sqrt{20}$ kHz	$V_{CC} = 5$ V	0.12	$mT_{PP}$
			$V_{CC} = 3.3$ V	0.2	
$V_N$	Output-referred noise <sup>(2)</sup>	$B_N \times S$	DRV5055A1/Z1	12	$mV_{PP}$
			DRV5055A2/Z2	6	
			DRV5055A3/Z3	3	
			DRV5055A4/Z4	1.5	

### รูปที่ ตารางแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DRV5055

#### 4.6.5.2 ตารางแสดงคุณสมบัติทางแม่เหล็กของ DRV5055

เป็นตารางที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางแม่เหล็กของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_Q$	Quiescent voltage	$B = 0$ mT, $T_A = 25^\circ C$	$V_{CC} = 5$ V	2.43	2.5
			$V_{CC} = 3.3$ V	1.59	1.65
$V_{Q\Delta T}$	Quiescent voltage temperature drift	$B = 0$ mT, $T_A = -40^\circ C$ to $125^\circ C$ versus $25^\circ C$		$\pm 1\% \times V_{CC}$	V
$V_{QRE}$	Quiescent voltage ratiometry error <sup>(2)</sup>			$\pm 0.2\%$	
$V_{Q\Delta L}$	Quiescent voltage lifetime drift	High-temperature operating stress for 1000 hours		< 0.5%	
$S$	Sensitivity	$V_{CC} = 5$ V, $T_A = 25^\circ C$	DRV5055A1/Z1	95	100
			DRV5055A2/Z2	47.5	50
			DRV5055A3/Z3	23.8	25
			DRV5055A4/Z4	11.9	12.5
		$V_{CC} = 3.3$ V, $T_A = 25^\circ C$	DRV5055A1/Z1	57	60
			DRV5055A2/Z2	28.5	30
			DRV5055A3/Z3	14.3	15
			DRV5055A4/Z4	7.1	7.5
$B_L$	Linear magnetic sensing range <sup>(3) (4)</sup>	$V_{CC} = 5$ V, $T_A = 25^\circ C$	DRV5055A1/Z1	$\pm 21$	mT
			DRV5055A2/Z2	$\pm 42$	
			DRV5055A3/Z3	$\pm 85$	
			DRV5055A4/Z4	$\pm 169$	
		$V_{CC} = 3.3$ V, $T_A = 25^\circ C$	DRV5055A1/Z1	$\pm 22$	
			DRV5055A2/Z2	$\pm 44$	
			DRV5055A3/Z3	$\pm 88$	
			DRV5055A4/Z4	$\pm 176$	
$V_L$	Linear range of output voltage <sup>(4)</sup>		0.2	$V_{CC} - 0.2$	V
$S_{TC}$	Sensitivity temperature compensation for magnets <sup>(5)</sup>	DRV5055A1, DRV5055A2, DRV5055A3, DRV5055A4		0.12	%/ $^\circ C$

รูปที่ ตารางแสดงคุณสมบัติทางแม่เหล็กของ DRV5055

#### 4.5.6.3 สูตรการคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าข้ออก

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

โดย  $V_{out}$  = แรงดันไฟฟ้าข้ออก

$V_Q$  = ครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าข้ออก

$B$  = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

$Sensitivity_{(25^{\circ}\text{C})}$  = ความไวในการตอบสนองขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และ  $V_{cc}$

$S_{TC}$  = ค่าความไวต่ออุณหภูมิขึ้นกับอุปกรณ์

$T_A$  = อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

#### 4.5.6.4 สูตรการคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่ต่ำที่สุด

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

โดย  $B_{L(MIN)}$  = ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่ต่ำที่สุด

$V_{L(MAX)}$  = ค่าความต่างศักย์สูงสุดของเอาต์พุตเมื่อมีสนาમแม่เหล็ก

$V_{Q(MAX)}$  = ค่าความต่างศักย์สูงสุดของเอาต์พุตเมื่อไม่มีสนาມแม่เหล็ก

$S_{(MAX)}$  = ค่าความไวสูงสุดที่เซนเซอร์ตอบสนอง

#### 4.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 4.7.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จาก datasheet
- 4.7.2 เชื่อมต่อตัว Hall Effect Magnetic Sensor เข้ากับบอร์ด STM32
- 4.7.3 เชื่อมบอร์ด STM32 เข้ากับคอมพิวเตอร์
- 4.7.4 ใช้ STM32CubeMX ในการตั้งค่า ADC ของบอร์ด STM32 เพื่อให้สามารถอ่านสัญญาณจากเซนเซอร์ได้อย่างต่อเนื่อง
- 4.7.5 สร้างแบบจำลองใน Simulink สำหรับการอ่านและเก็บค่าจากเซนเซอร์ Hall Effect
- 4.7.6 ใช้ State flow ใน Simulink เพื่อเก็บข้อมูลระยะห่างที่เปลี่ยนไป โดยเก็บ 500 ค่าต่อระยะทาง 1 มิลลิเมตร
- 4.7.7 นำค่าที่ได้ไปเก็บใน Excel และนำไปทำการฟิต
- 4.7.8 ทดสอบและการเก็บข้อมูลและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

#### 4.8 วัสดุอุปกรณ์

- 4.8.1 Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน
- 4.8.2 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน
- 4.8.3 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- 4.8.4 EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Incremental Encoder, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Incremental Encoder ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์
- 4.8.5 สายจัมเปอร์

#### 4.9 วิธีดำเนินการทดลอง

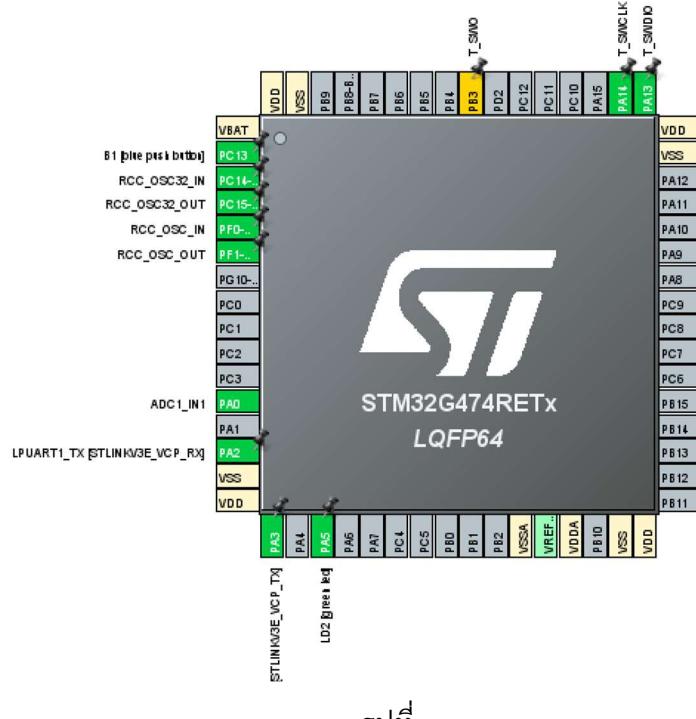
- 4.7.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จาก datasheet
- 4.7.2 เชื่อมต่อตัว Hall Effect Magnetic Sensor โดยเชื่อมขา Vcc GND OUT เข้ากับบอร์ด STM32



รูปที่ การต่อ Hall Effect Magnetic Sensor เข้ากับบอร์ด STM32

4.7.3 เชื่อมบอร์ด STM32 เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านสายอัปโหลด เพื่อส่งข้อมูลเข้า MATLAB

4.7.4 ใช้ STM32CubeMX ในการตั้งค่า ADC ของบอร์ด STM32 เพื่อให้สามารถอ่านสัญญาณจากเซนเซอร์ได้อย่างต่อเนื่อง

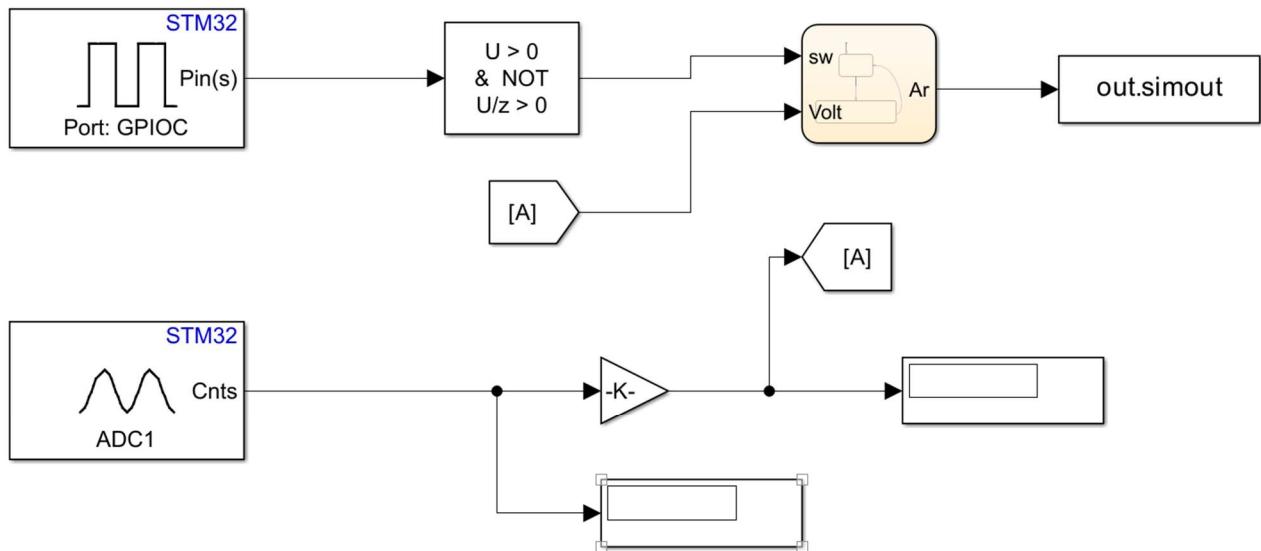


รูปที่

#### 4.7.5 สร้างแบบจำลองใน Simulink สำหรับการอ่านและเก็บค่าจากเซนเซอร์ Hall Effect

ค่าที่ STM32 ได้รับมานั้นมาในหน่วย bit ทำให้ต้องมีการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะนำทำการฟ โดย คูณค่า K

$$K = \frac{1}{4095} \times 3.3$$



รูปที่

#### 4.7.6 ใช้ State flow ใน Simulink เพื่อเก็บข้อมูลระยะห่างที่เปลี่ยนไป โดยเก็บไว้ใน Array ขนาด $1 \times 500$ ค่าต่อ ระยะทาง 1 มิลลิเมตร ต้องทำการกดสวิตช์เพื่อทำการเก็บค่า เมื่อกดจะย้ายจาก State Start ไปยัง State Step เพื่อเก็บค่าเมื่อเก็บถึง 500 ค่าแล้วจะกลับไปยัง State Start ถ้าต้องการเก็บค่าใหม่ให้กด Start run โปรแกรมใหม่



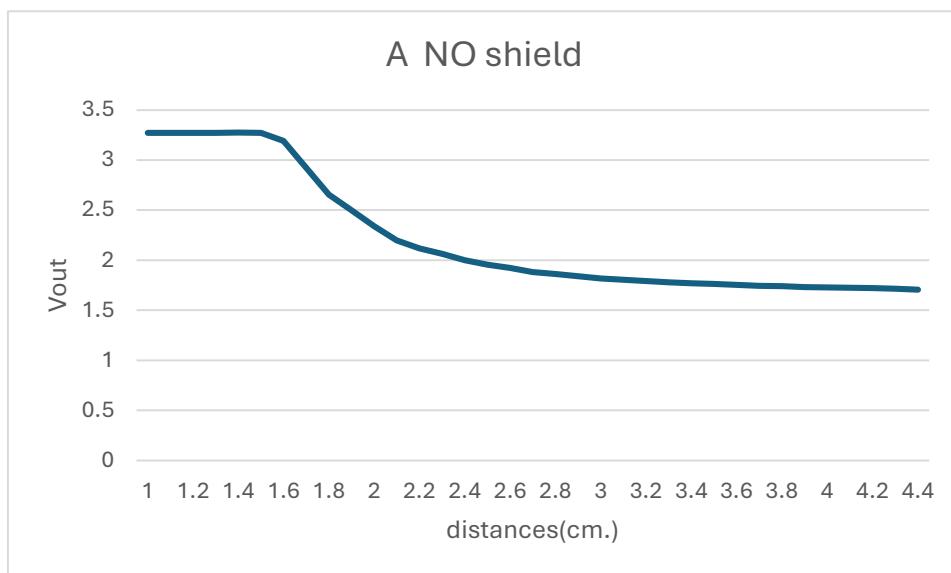
#### 4.10 ผลการทดลอง

##### 4.10.1 ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าของแม่เหล็กขั้ว A ตอนไม่มี Shield

distances(cm.)	Vout
1	3.271735
1.1	3.272012
1.2	3.272061
1.3	3.272472
1.4	3.272424
1.5	3.272046
1.6	3.190201
1.7	2.92351
1.8	2.65289
1.9	2.497839
2	2.33725
2.1	2.196159
2.2	2.119076
2.3	2.064551
2.4	2.000057
2.5	1.955987
2.6	1.922786
2.7	1.881941
2.8	1.862054
2.9	1.840851
3	1.818584

3.1	1.803296
3.2	1.791217
3.3	1.779463
3.4	1.770459
3.5	1.761709
3.6	1.752414
3.7	1.745312
3.8	1.740383
3.9	1.731942
4	1.728299
4.1	1.725032
4.2	1.720111
4.3	1.715703
4.4	1.706382

ตารางที่ แสดงระบบห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าของขั้ว A ของแม่เหล็ก

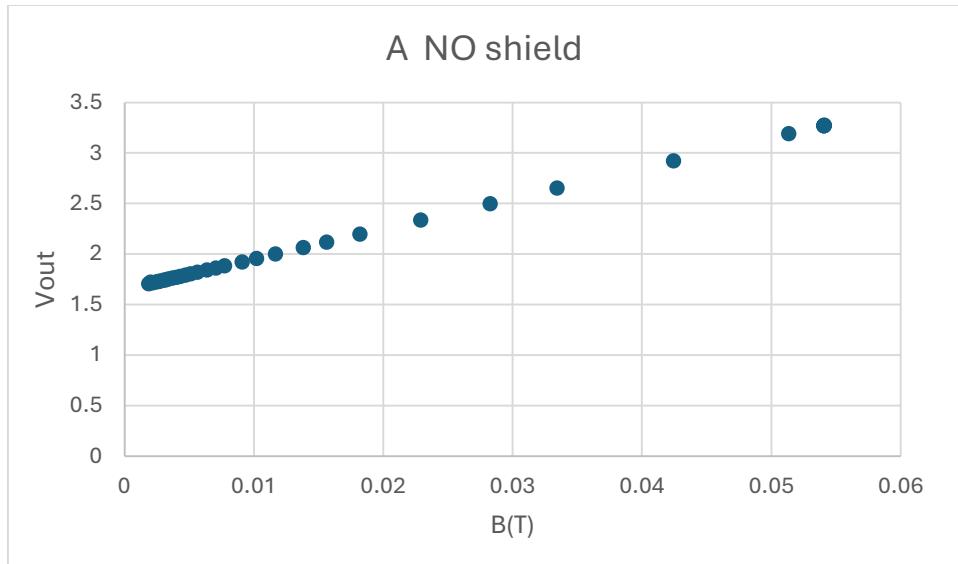


รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าของขั้ว A ของแม่เหล็กตอนไม่มี Shield

Vout	B(T)
3.271735	0.054058
3.272012	0.054067
3.272061	0.054069
3.272472	0.054082
3.272424	0.054081
3.272046	0.054068
3.190201	0.05134
2.92351	0.04245
2.65289	0.03343
2.497839	0.028261
2.33725	0.022908
2.196159	0.018205
2.119076	0.015636
2.064551	0.013818
2.000057	0.011669
1.955987	0.0102
1.922786	0.009093
1.881941	0.007731

1.862054	0.007068
1.840851	0.006362
1.818584	0.005619
1.803296	0.00511
1.791217	0.004707
1.779463	0.004315
1.770459	0.004015
1.761709	0.003724
1.752414	0.003414
1.745312	0.003177
1.740383	0.003013
1.731942	0.002731
1.728299	0.00261
1.725032	0.002501
1.720111	0.002027
1.715703	0.00219
1.706382	0.001879

ตารางที่ แสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้า  
ข้ามอกข้าว A ของแม่เหล็ก



รูปที่ 4.10.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้าวอกรั้ว A ของแม่เหล็กไม่มี Shield

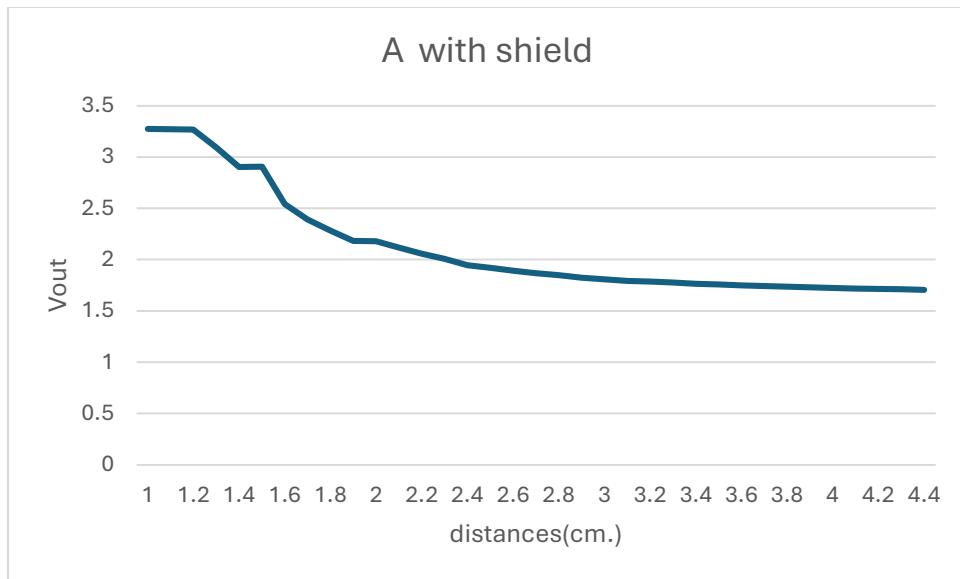
#### 4.10.2 ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าของแม่เหล็กข้าว A ตอนมี Shield

distances(cm.)	Vout
1	3.273411
1.1	3.27375
1.2	3.268111
1.3	3.094507
1.4	2.90315
1.5	2.905699
1.6	2.541659
1.7	2.392108
1.8	2.28322
1.9	2.18121

2	2.179759
2.1	2.116026
2.2	2.05653
2.3	2.008383
2.4	1.945673
2.5	1.920785
2.6	1.893221
2.7	1.867234
2.8	1.848886
2.9	1.825157
3	1.806719
3.1	1.792873
3.2	1.785496
3.3	1.777773
3.4	1.765032
3.5	1.757562
3.6	1.749071
3.7	1.743306
3.8	1.737142
3.9	1.731146
4	1.723194
4.1	1.718006
4.2	1.71456
4.3	1.711327

4.4	1.706382
-----	----------

ตารางที่ แสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้ออกขั้ว A ของแม่เหล็ก



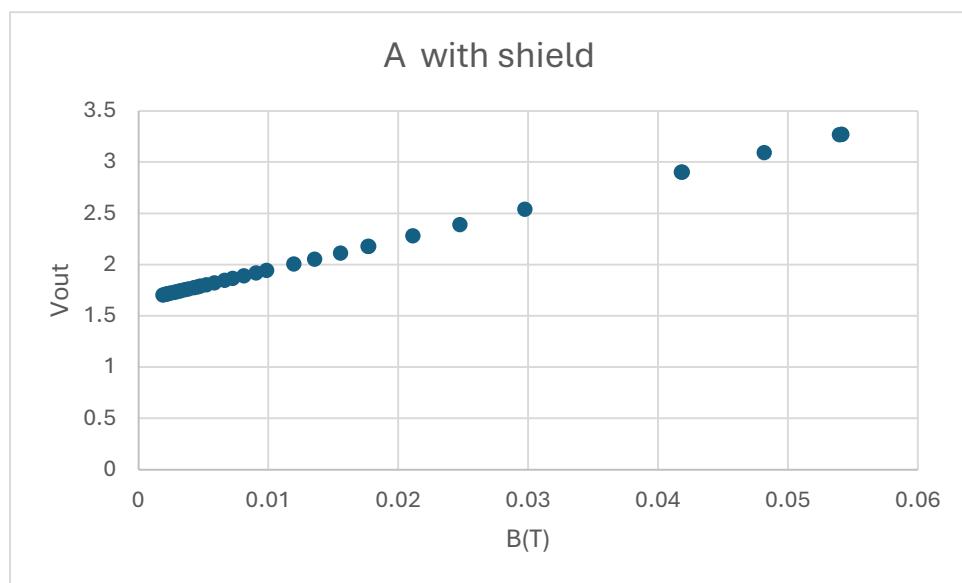
รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้อ  
ออกขั้ว A ของแม่เหล็กมี Shield

Vout	B(T)
3.273411	0.054114
3.27375	0.054125
3.268111	0.053937
3.094507	0.04815
2.90315	0.041772
2.905699	0.041857
2.541659	0.029722

2.392108	0.024737
2.28322	0.021107
2.18121	0.017707
2.179759	0.017659
2.116026	0.015534
2.05653	0.013551
2.008383	0.011946
1.945673	0.009856
1.920785	0.009026
1.893221	0.008107
1.867234	0.007241
1.848886	0.00663
1.825157	0.005839
1.806719	0.005224
1.792873	0.004762
1.785496	0.004517
1.77773	0.004258
1.765032	0.003834
1.757562	0.003585
1.749071	0.003302
1.743306	0.00311
1.737142	0.002905
1.731146	0.002705
1.723194	0.00244

1.718006	0.002267
1.71456	0.002152
1.711327	0.002044
1.706382	0.001879

ตารางที่ แสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้า  
ข้ออกขั้ว A ของแม่เหล็ก



รูปที่ กราฟแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้า  
ข้อออกขั้ว A ของแม่เหล็กไม่มี Shield

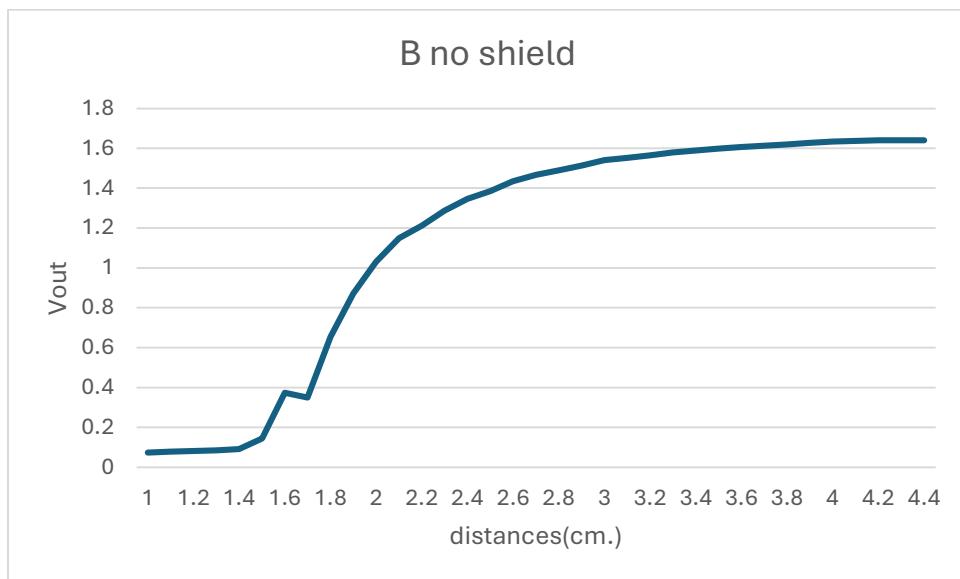
#### 4.10.3 ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าของแม่เหล็กขั้ว B ตอนไม่มี Shield

distances(cm.)	Vout
1	0.07481
1.1	0.078228
1.2	0.082245

1.3	0.084757
1.4	0.090367
1.5	0.143276
1.6	0.373316
1.7	0.349712
1.8	0.655016
1.9	0.87044
2	1.030443
2.1	1.148177
2.2	1.212089
2.3	1.286999
2.4	1.345629
2.5	1.384792
2.6	1.434803
2.7	1.466436
2.8	1.489268
2.9	1.513183
3	1.539745
3.1	1.550891
3.2	1.564568
3.3	1.578898
3.4	1.588189
3.5	1.597402
3.6	1.605644

3.7	1.61326
3.8	1.619094
3.9	1.626262
4	1.632903
4.1	1.6362
4.2	1.63908
4.3	1.64134
4.4	1.64134

ตารางที่ แสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้าออกชี้ว่า B ของแม่เหล็ก



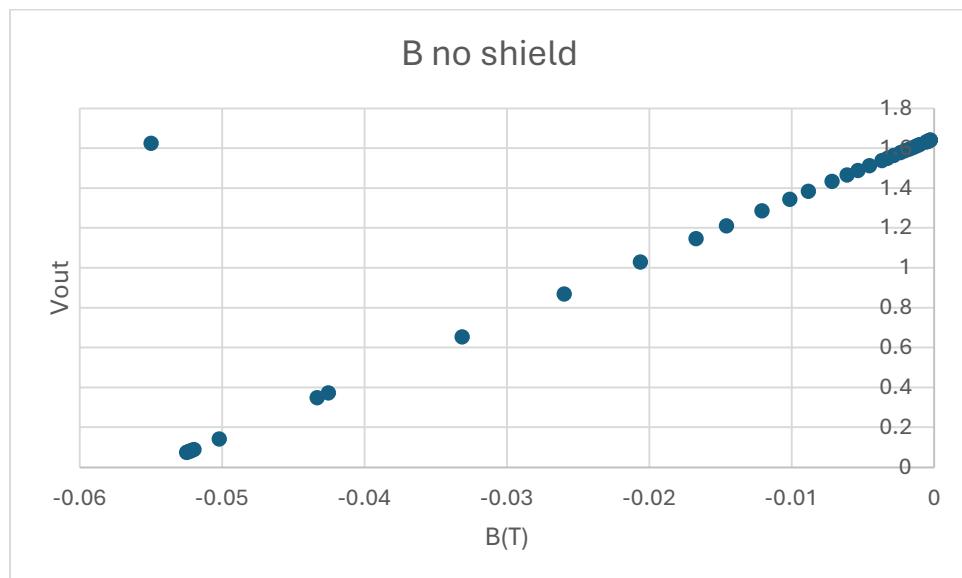
รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้าออกชี้ว่า B ของแม่เหล็กไม่มี Shield

Vout	B(T)
------	------

0.07481	-0.05251
0.078228	-0.05239
0.082245	-0.05226
0.084757	-0.05217
0.090367	-0.05199
0.143276	-0.05022
0.373316	-0.04256
0.349712	-0.04334
0.655016	-0.03317
0.87044	-0.02599
1.030443	-0.02065
1.148177	-0.01673
1.212089	-0.0146
1.286999	-0.0121
1.345629	-0.01015
1.384792	-0.00884
1.434803	-0.00717
1.466436	-0.00612
1.489268	-0.00536
1.513183	-0.00456
1.539745	-0.00368
1.550891	-0.0033
1.564568	-0.00285
1.578898	-0.00237

1.588189	-0.00206
1.597402	-0.00175
1.605644	-0.00148
1.61326	-0.00122
1.619094	-0.00103
1.626262	-0.055
1.632903	-0.00057
1.6362	-0.00046
1.63908	-0.00036
1.64134	-0.00029
1.64134	-0.00029

ตารางที่ แสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้า  
ข้าออกข้าว B ของแม่เหล็ก



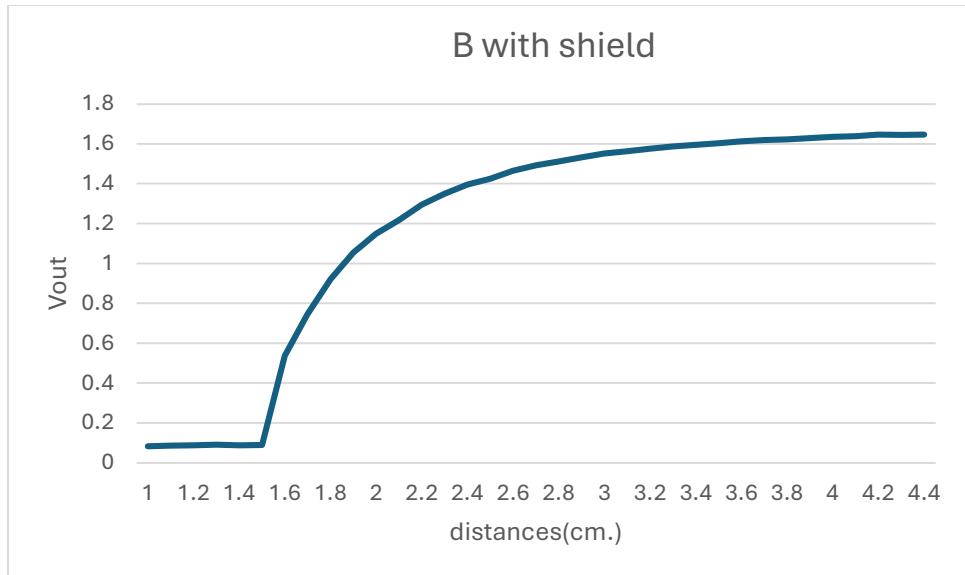
รูปที่ กราฟแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับ  
แรงดันไฟฟ้าข้าออกข้าว B ของแม่เหล็กไม่มี Shield

4.10.4 ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าของแม่เหล็กขั้ว B ตอนมี Shield

distances(cm.)	Vout
1	0.08421
1.1	0.085684
1.2	0.088395
1.3	0.090501
1.4	0.087648
1.5	0.089906
1.6	0.537586
1.7	0.745634
1.8	0.920631
1.9	1.054588
2	1.148341
2.1	1.218166
2.2	1.29401
2.3	1.348655
2.4	1.394962
2.5	1.425027
2.6	1.464765
2.7	1.492461
2.8	1.51053
2.9	1.531618
3	1.551564

3.1	1.562865
3.2	1.575336
3.3	1.586778
3.4	1.595238
3.5	1.602904
3.6	1.612181
3.7	1.618992
3.8	1.622654
3.9	1.629057
4	1.635181
4.1	1.638667
4.2	1.645583
4.3	1.644984
4.4	1.646473

ตารางที่ แสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าข้าอกข้าว  
B ของแม่เหล็ก

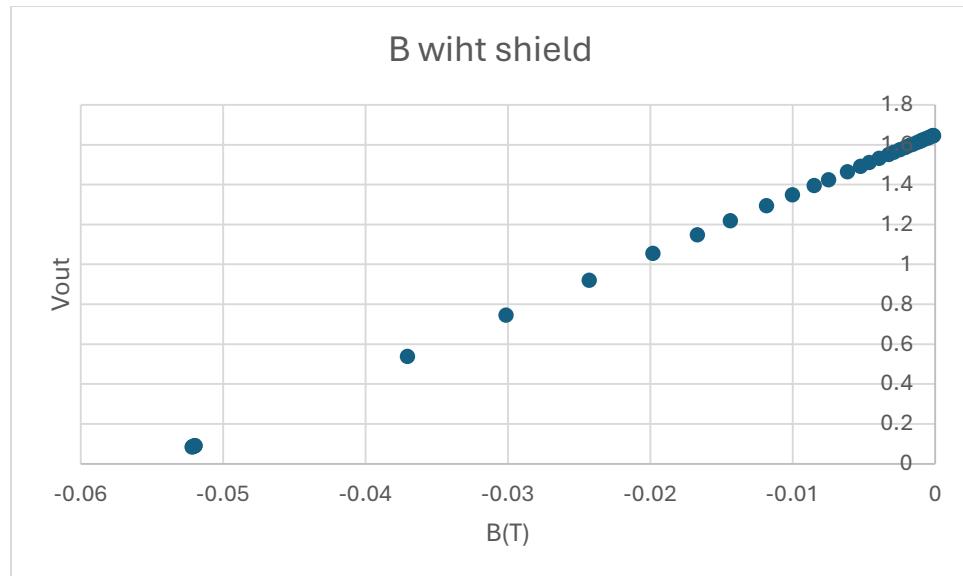


รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกข้าว B ของแม่เหล็กมี Shield

Vout	B(T)
0.08421	-0.05219
0.085684	-0.05214
0.088395	-0.05205
0.090501	-0.05198
0.087648	-0.05208
0.089906	-0.052
0.537586	-0.03708
0.745634	-0.03015
0.920631	-0.02431
1.054588	-0.01985
1.148341	-0.01672
1.218166	-0.01439

1.29401	-0.01187
1.348655	-0.01004
1.394962	-0.0085
1.425027	-0.0075
1.464765	-0.00617
1.492461	-0.00525
1.51053	-0.00465
1.531618	-0.00395
1.551564	-0.00328
1.562865	-0.0029
1.575336	-0.00249
1.586778	-0.00211
1.595238	-0.00183
1.602904	-0.00157
1.612181	-0.00126
1.618992	-0.00103
1.622654	-0.00091
1.629057	-0.0007
1.635181	-0.00049
1.638667	-0.00038
1.645583	-0.00015
1.644984	-0.00017
1.646473	-0.00012

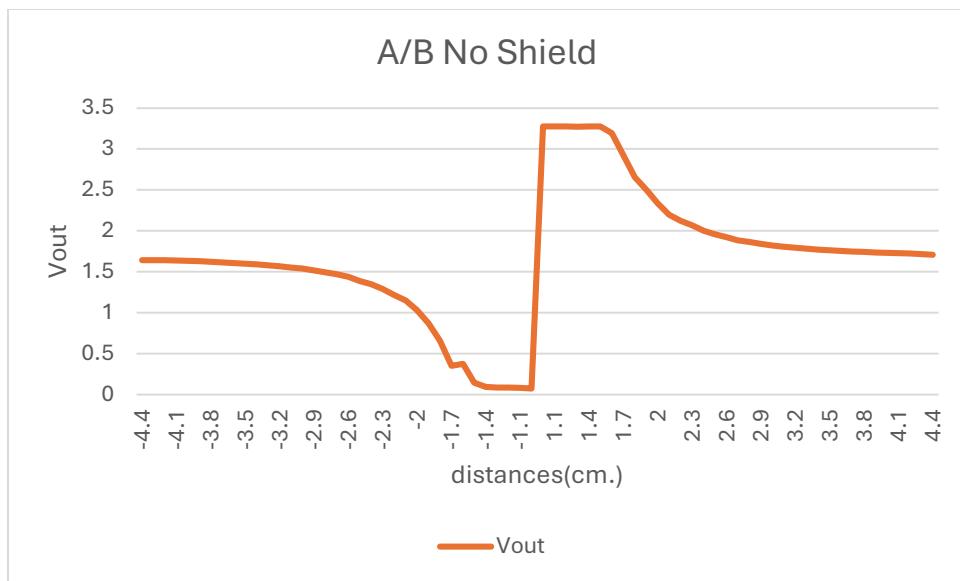
ตารางที่ แสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้า  
ข้าออกขั้ว B ของแม่เหล็ก



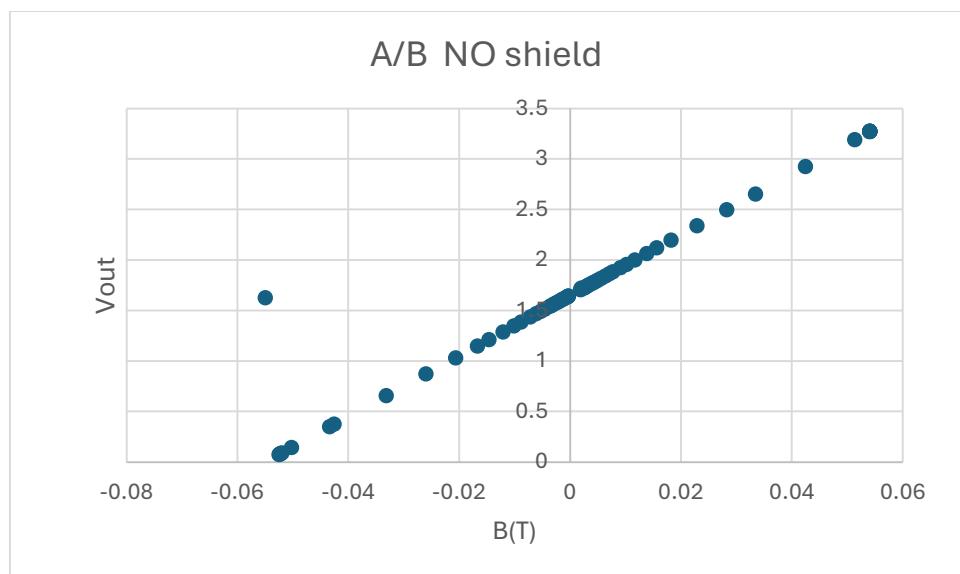
รูปที่ กราฟแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับ  
แรงดันไฟฟ้าข้าออกขั้ว B ของแม่เหล็กมี Shield

#### 4.11 สรุปผล

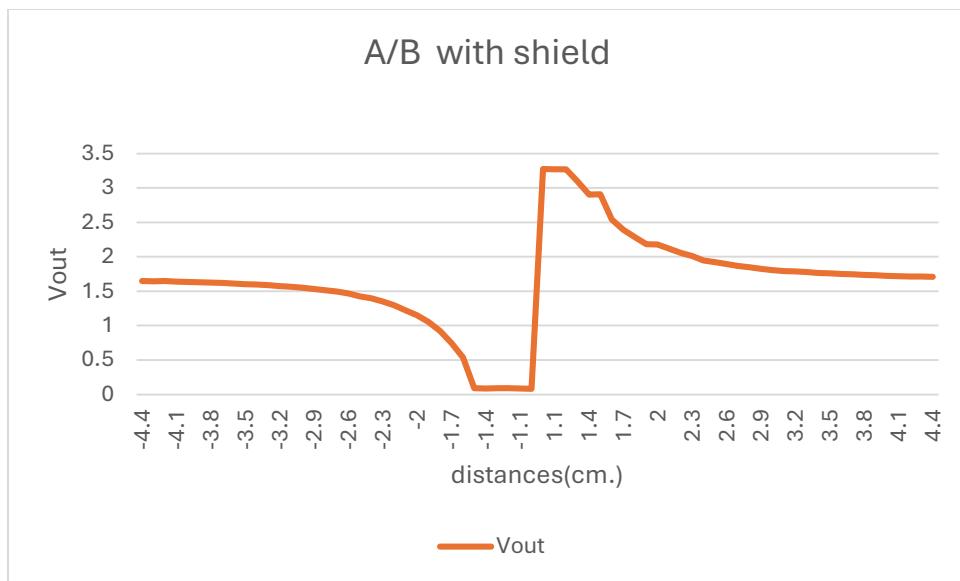
จากการทดลองทำให้เห็นว่าสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของ  
สนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้และเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างของเซนเซอร์กับแม่เหล็ก การเปลี่ยนขั้วของแม่เหล็กก็  
ส่งผลต่อแรงดันเอาต์พุต



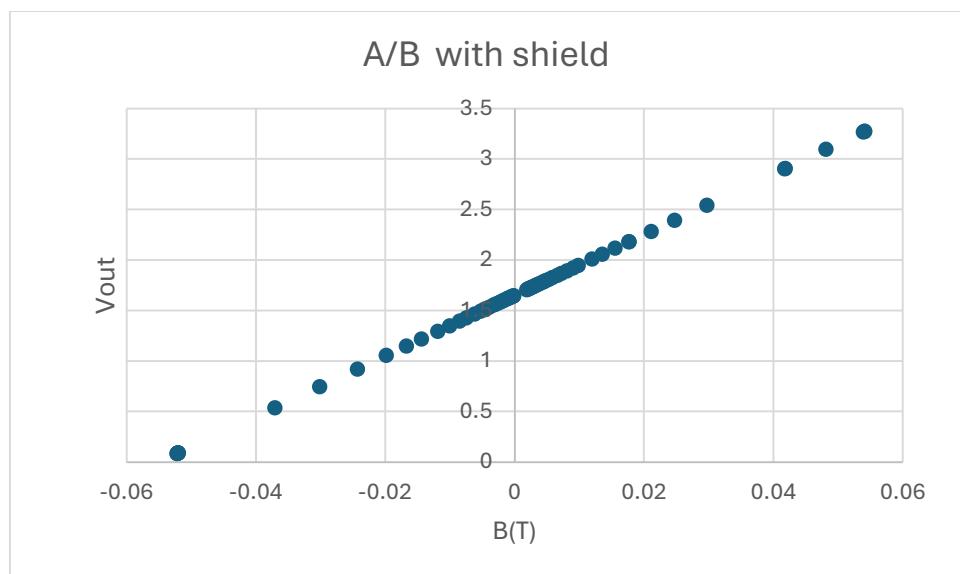
รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกขั้ว A/B ของแม่เหล็กไม่มี Shield



รูปที่ กราฟแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกขั้ว A/B ของแม่เหล็กไม่มี Shield



รูปที่ กราฟแสดงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกข้าว A/B ของแม่เหล็กไม่มี Shield



รูปที่ กราฟแสดงความหนาแน่นของพลัง磁แม่เหล็กกับ Hall Effect Magnetic Sensor เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกข้าว A/B ของแม่เหล็กมี Shield

#### 4.12 อภิปรายผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Hall Effect Magnetic Sensor สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำ โดยสัญญาณแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก และขั้วของแม่เหล็กก็ส่งผลต่อแรงดันเอาต์พุตอย่างชัดเจนทำให้สามารถแยกได้ว่าแรงดันเอาต์พุตที่ออกมานั้นมาจากการแม่เหล็กข้าวไหน

และจากการทดลองเมื่อมี Magnetic Field Shielding และเมื่อไม่มีนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าข้าวอกที่มีค่าไม่ต่างกันมากอาจมาจากวัสดุที่ใช้สำหรับการ Shielding อาจไม่ได้มีประสิทธิภาพในการป้องกันสนามแม่เหล็กในทุกทิศทางหรือทุกระดับ ทำให้ค่าแรงดันข้าวอกยังคงใกล้เคียงเดิม

#### 4.13 ข้อเสนอแนะ

4.13.1 ควรเก็บค่าโดยการเขียน MATLAB เพื่อประหยัดเวลาในการเก็บค่า

#### 4.14 เอกสารอ้างอิง

4.14.1 <https://www.mathworks.com/help/matlab/>

4.14.2 <https://www.mathworks.com/help/simulink/>

4.14.3 <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>

4.14.4

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1730310833814&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1730310833814&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

การทดลองที่ 5 Single Point Load Cell

## 5.1 จุดประสงค์

5.1.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของ Load cell, วงจร Wheatstone bridge, Strain Gauge, 2 Op-amps Differential Amplifier ได้

5.1.2 สามารถอธิบายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ได้ เมื่อแรงที่กระทำต่อ Load Cell เปลี่ยนแปลงไป

5.1.3 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Gain และ ค่า ความต้านทานของ Single External Resistor และส่งผลอย่างไรกับ การวัดค่าของ Load Cell

5.1.4 สามารถอธิบายกระบวนการ Signal Conditioning ทั้งหมดได้ดังแต่ต้นจนจบกระบวนการ ว่าค่าที่อ่านได้จาก Load Cell มีที่มาอย่างไร อธิบายให้เห็นถึงวิธีคิดและขั้นตอนทั้งหมด ทั้งก่อนและ หลัง Calibrate Sensor หรือ วิธีจัดการข้อมูลที่ได้มา จัดการอย่างไร รวมถึงหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell และต้นไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell ทั้งแบบที่ยังไม่ผ่าน INA125 และผ่าน INA125

5.1.5 สามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก INA125 Instrumentation Amplifier ที่ต่อเข้ากับ Single Point Load Cell เป็น Input และ และแสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็น กราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่า สัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดย มี Output เป็นหน่วย SI derived

## 5.2 สมมติฐาน

5.2.1 เมื่อมีแรงกระทำต่อ Load Cell สัญญาณแรงดันไฟฟ้าข้าอกจาก Load Cell จะเปลี่ยนแปลงโดยตรงตามขนาดของแรงที่กระทำ โดยแรงดันไฟฟ้าข้าอกจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงที่กระทำเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถวัดค่าของแรงที่กระทำได้อย่างเป็นสัดส่วน

5.2.2 INA125 จะขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็กที่มาจากการ Load Cell ให้เป็นสัญญาณแรงดันที่สูงขึ้นและง่ายต่อการอ่านค่า โดยสัญญาณแรงดันที่ขยายจาก INA125 จะรักษาความเป็นเชิงเส้นตามสัญญาณแรงดันที่มาจากการ Load Cell

### 5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

5.3.1 ตัวแปรต้น : นำหนักรีชั่ง

5.3.2 ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้าข้าวอก

5.3.3 ตัวแปรควบคุม : นำหนักรีเพิ่มในแต่ละครั้ง

### 5.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

5.4.1 STM32 หมายถึง Nucleo STM32G474RE

### 5.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

5.5.1 Potentiometer A หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPA103

5.5.2 Potentiometer B หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103B

5.5.3 Potentiometer C หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103C

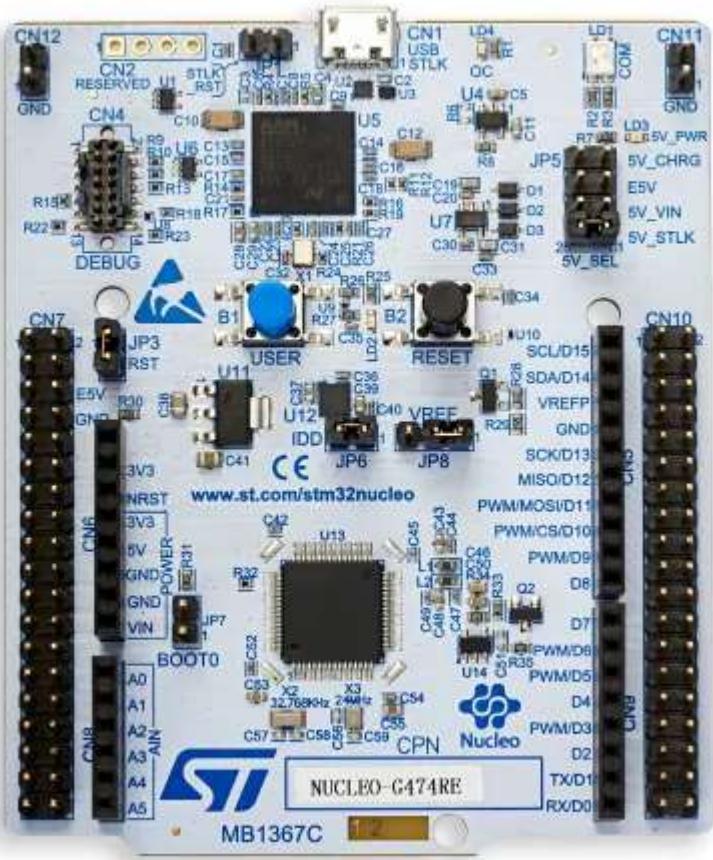
5.5.4 Potentiometer LA หมายถึง Potentiometer PDB181-K420K-103A2

5.5.5 Potentiometer LB หมายถึง Potentiometer PTA6043-2015DPB103

### 5.6 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.6.1 Nucleo STM32G474RE

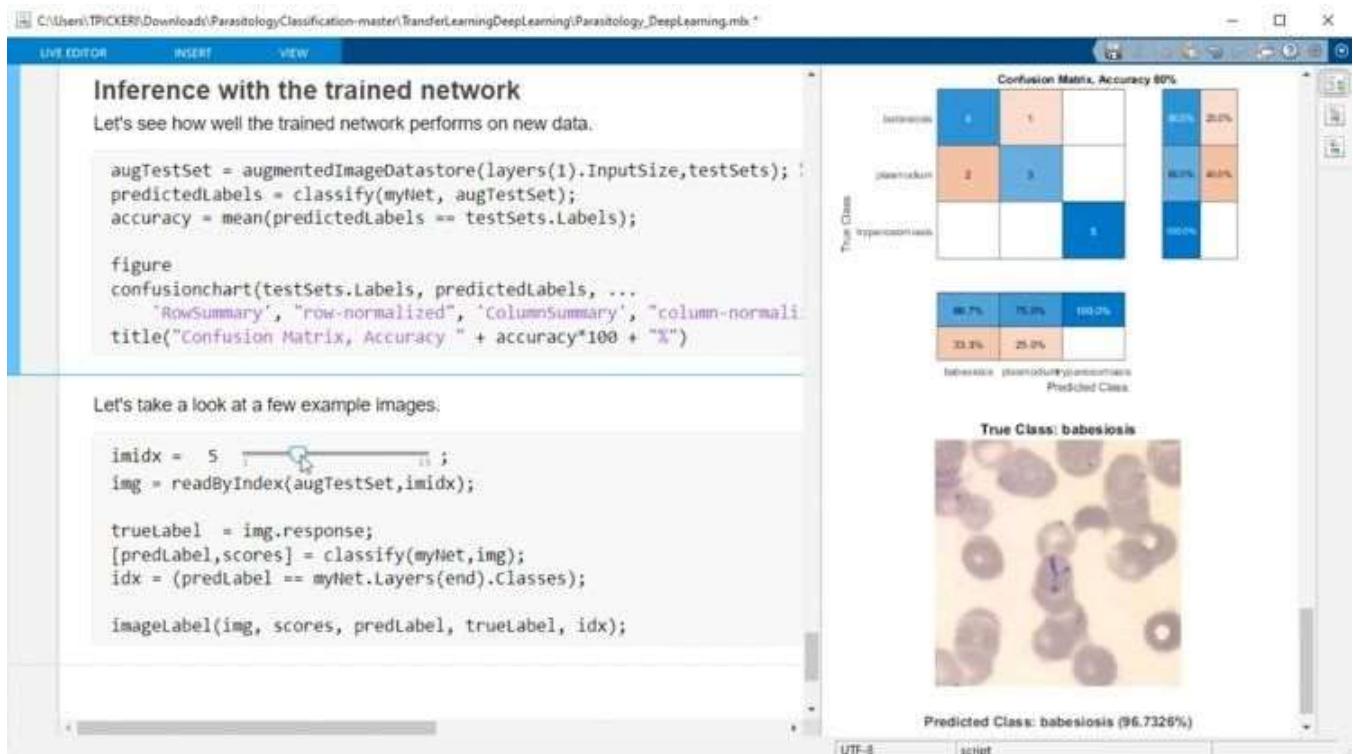
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ซึ่งสามารถในการควบคุมสัญญาณแบบอะนาล็อกและดิจิทัล และรองรับการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ ทำให้เหมาะสมกับงานต่างๆ



รูปที่ Nucleo STM32G474RE

## 5.6.2 MATLAB

คือโปรแกรมซอฟต์แวร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข การประมวลผลข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการสร้างแบบจำลอง รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันและการควบคุมระบบ อัตโนมัติ



รูปที่ MATLAB

### 5.6.3 Simulink

เป็นเครื่องมือเสริมของ MATLAB ซึ่งใช้สำหรับการสร้างและจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมและระบบพลศาสตร์ผ่าน การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming) โดยผู้ใช้สามารถสร้างแผนผังบล็อกได้象โปรแกรมเพื่อจำลองระบบที่ซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย เช่น ระบบควบคุม, ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า, และระบบไฮบริดต่าง ๆ



## รูปที่ Simulink

Load cell ทำงานโดยการใช้การเปลี่ยนแปลงทางกลที่เกิดจากแรงกดหรือแรงดึงเพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้า โดยหลักการที่ใช้ในการทำงานของ load cell มากเป็นการใช้ Strain gauge ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรง

Load cell มีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะและการใช้งานที่แตกต่างกัน:

- 1.S-type Load Cell: วัดแรงดึงและแรงกด มีความแม่นยำสูงและติดตั้งง่าย
- 2.Compression Load Cell: ใช้สำหรับวัดแรงกด ทนทานต่อแรงกดสูง เหมาะสำหรับ
- 3.เครื่องชั่งน้ำหนักที่ต้องรับน้ำหนักมาก
- 4.Tension Load Cell: วัดแรงดึงในสายเคเบิลหรือโครงสร้าง มีความแม่นยำสูง
- 5.Bending Beam Load Cell: ใช้ในเครื่องชั่งน้ำหนักทั่วไป ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา
- 6.Shear Beam Load Cell: เหมาะสำหรับการวัดแรงกดในเครื่องชั่งขนาดใหญ่
- 7.Multi-Point Load Cell: ใช้ในการวัดน้ำหนักในหลายจุดพร้อมกัน
- 8.Torque Load Cell: ออกแบบมาเพื่อวัดแรงบิด

Load cell computation

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

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

โดย  $V_O$  คือ แรงดันไฟฟ้าข้อกอกของ Differential amplifier มีหน่วยเป็น (v)

$V_{IN}^+$  คือ แรงดันไฟฟ้าขากวักที่เข้าในวงจร Differential amplifier มีหน่วยเป็น (v)

$V_{IN}^-$  คือ แรงดันไฟฟ้าขากลบที่เข้าในวงจร Differential amplifier มีหน่วยเป็น (v)

$G$  คือ อัตราขยาย

$R_G$  คือ ตัวต้านทานที่เชื่อมต่อกับขากลบของ Differential amplifier ( $\Omega$ )

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_z)^2}$$

โดย  $n$  คือ จำนวนข้อมูลที่สนใจ

$y_i$  คือ ค่าที่วัดได้จริง

$y_z$  คือ ค่าที่คาดการณ์ไว้

## 5.7 วิธีดำเนินการทดลอง

5.7.1 เชื่อมต่อสายบนบอร์ด Nucleo STM32G474RE

5.7.2 สร้างและออกแบบ Simulink model เพื่อเก็บค่า

5.7.3 แปลงค่าที่ได้และนำไปพล็อทกราฟ

## 5.8 วัสดุอุปกรณ์

5.8.1 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด

5.8.2 Potentiometer PTA6043-2015DPA103

5.8.3 Potentiometer PTA6043-2015DPB103

5.8.4 Potentiometer PDB181-K420K-103A2

5.8.5 Potentiometer PDB181-K420K-103B

5.8.6 Potentiometer PDB181-K420K-103C

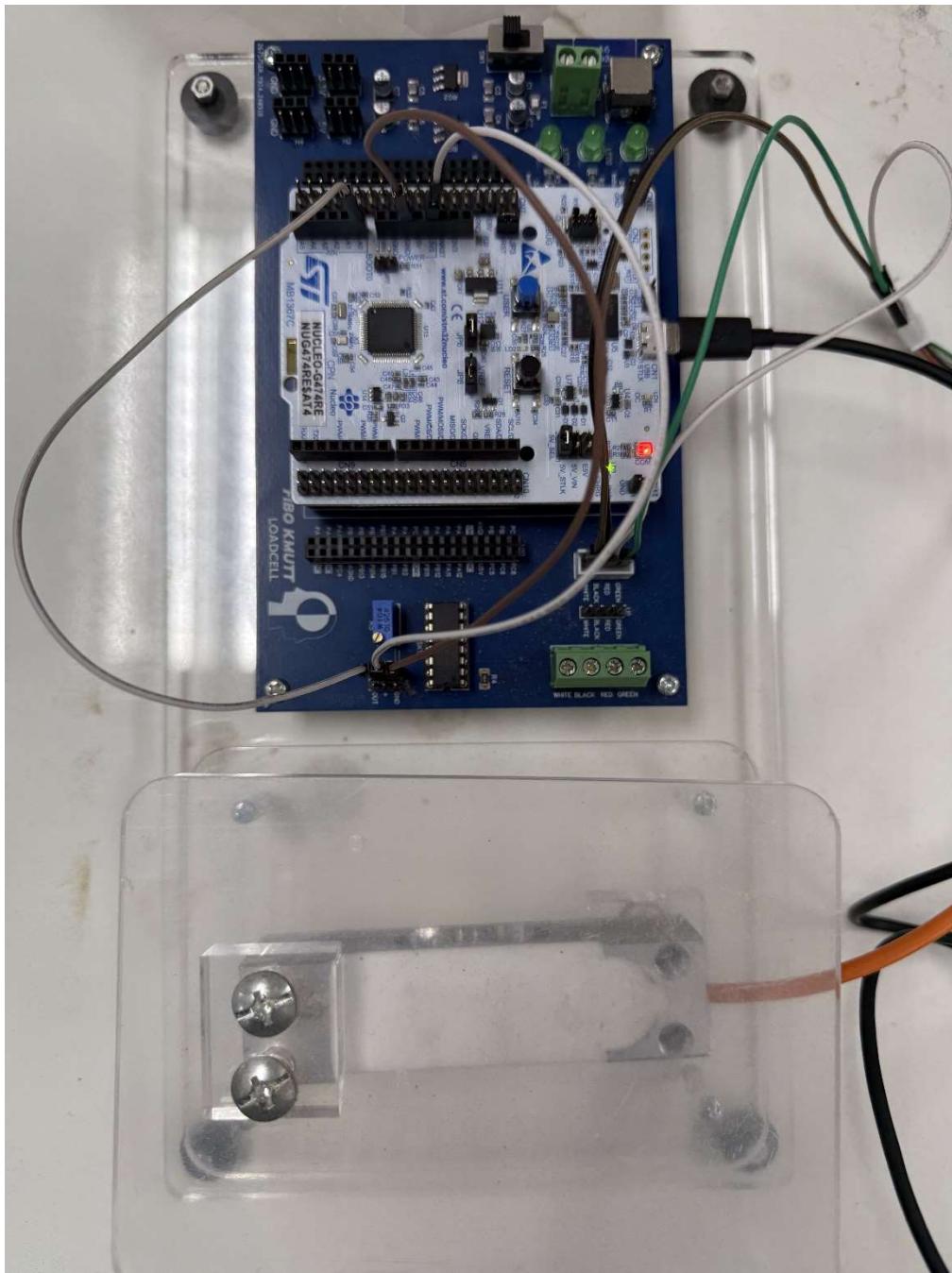
5.8.7 PotenXplorer จำนวน 1 ชุด – ฐานสามารถรับจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print,  
ใช้สำหรับการวัดมุนกการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์

5.8.8 สายจัมเปอร์

## 5.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

5.9.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของ load cell

### 5.9.2 การเชื่อมต่อบอร์ด:



5.9.2.1 เสียบสาย USB เพื่อเชื่อมต่อบอร์ด Nucleo STM32G474RE เข้ากับ คอมพิวเตอร์

5.9.2.2 เชื่อมต่อสาย jumper (1) จากpin 3V3 บนบอร์ดไปยังpin 1 ของ load cell

5.9.2.3 เชื่อมต่อสาย jumper (2) จากpin GND บนบอร์ดไปยังpin 2 ของ load cell

5.9.2.4 เชื่อมต่อสาย jumper (3) จากพิน A0 บนบอร์ดไปยังพิน 3 ของ load cell

### 5.9.2 การเปิดโปรแกรม Simulink:

5.9.2.1 เปิดโปรแกรม Simulink

5.9.2.2 สร้างโมเดลใหม่

5.9.3 การตั้งค่าโมเดล:

5.9.3.1 ปรับ Fixed Step เป็น 0.01

5.9.3.2 เลือก Hardware Board เป็น Nucleo STM32G474RE

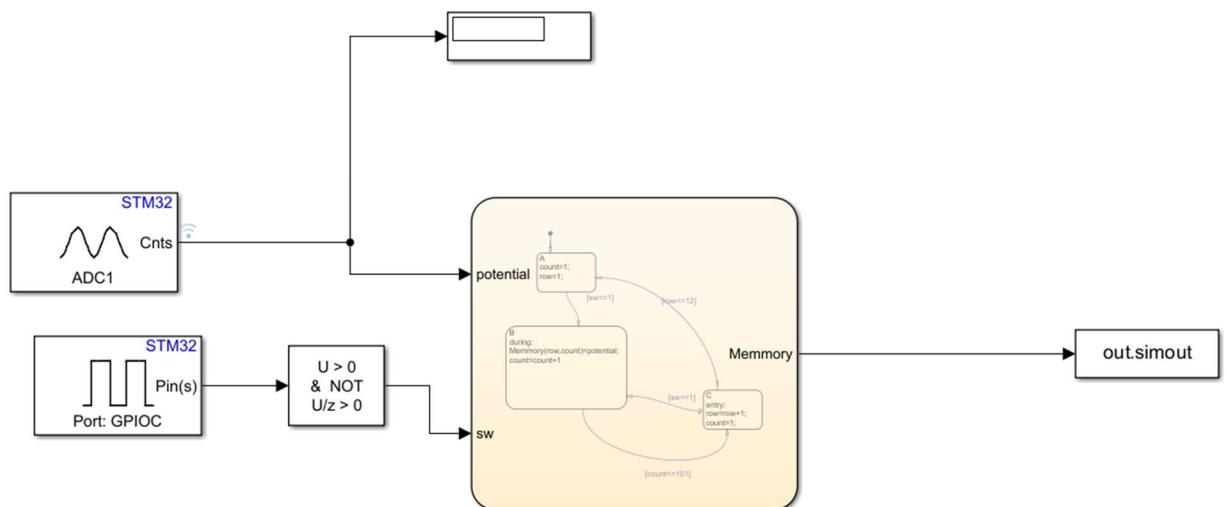
### 5.9.4 การสร้าง STM32CubeMX Project:

5.9.4.1 ตั้งค่า ADC1 IN1 เป็น Single-ended

5.9.4.2 ปิด Visibility (static)

5.9.4.3 ตั้งค่า Driver Selector เป็น LL

5.9.5 การเพิ่มบล็อกในโมเดล:



5.9.5.1 ใช้บล็อก Analog to Digital Converter เพื่ออ่านค่าจาก potentiometer

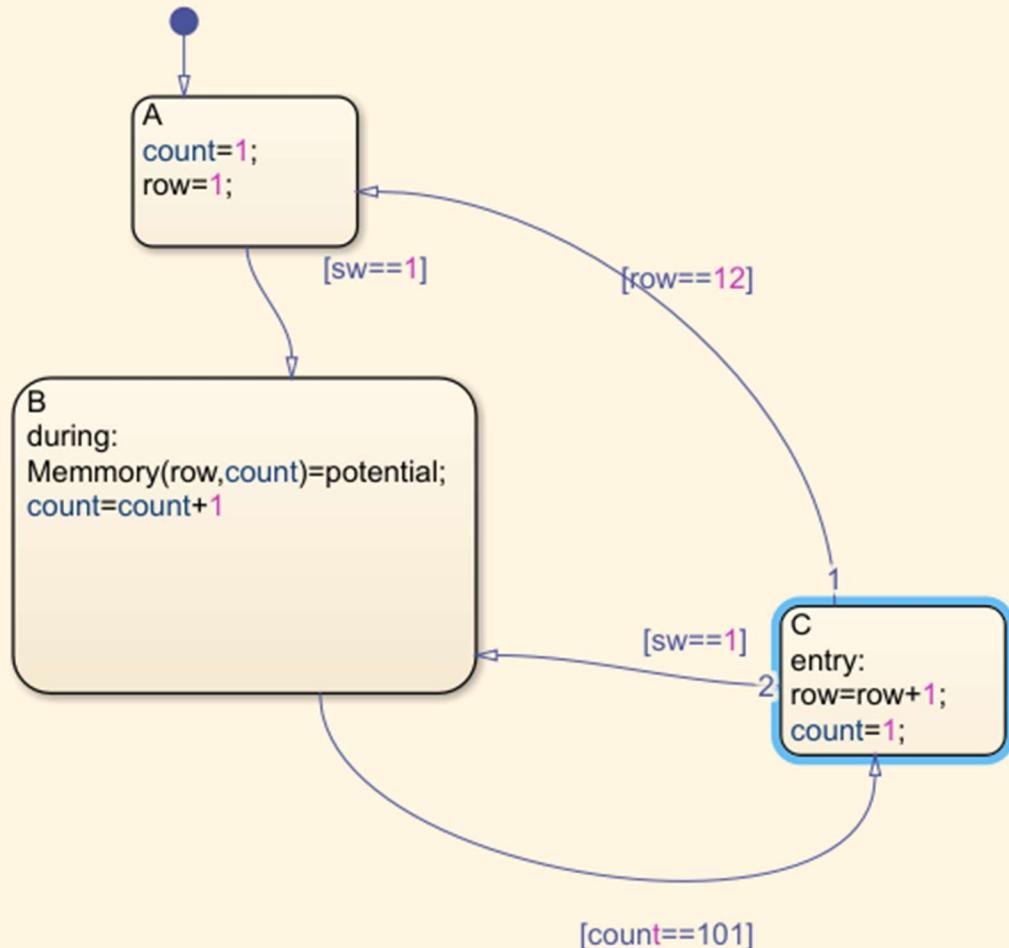
5.9.5.2 ใช้บล็อก Digital Port Read เพื่อตรวจจับการกดปุ่ม

5.9.5.3 ใช้บล็อก Detect Rise Positive เพื่อลดการ debounce ของปุ่ม

5.9.5.4 ใช้บล็อก Display เพื่อแสดงผลค่า

5.9.5.5 ใช้บล็อก To Workspace เพื่อนำค่าที่อ่านได้ไปยัง MATLAB

5.9.6 การสร้าง State Flow:



5.9.6.1 สร้าง Chart ใน State Flow โดยกำหนดให้มีอ กดสวิตช์ จะทำการเก็บค่า 100 ค่าลงใน array ขนาด  $11 \times 100$

5.9.6.2 เมื่อกดสวิตช์ครั้งแรก จะเก็บค่าในแ เวที่ 1 และเมื่อกดสวิตช์อีกครั้ง จะเก็บค่าในแ เวที่ไปทำซ้ำจนแตกต่างและหยุดทำงาน

5.9.7 การวิเคราะห์ข้อมูลใน MATLAB:

```
potential_data_test.m
1 %Data = out.simout;
2 Poten_B = zeros(1, 11);
3
4 for i=1:11
5 Poten_B(1,i)=mean(Data(i,1:100));
6 end
7 volt_B =Poten_B*(3.3/4095);
8 percent_B = Poten_B*(100/4095);
9 disp(Poten_A)
10 disp(volt_A)
11 disp(percent_A)
12
```

5.9.7.1 นำค่าที่ได้จากบล็อก To Workspace มาหาค่าเฉลี่ย

5.9.7.2 แปลงค่าจากบิทเป็นโวลต์ โดยการคูณ 3.3 และหารด้วย 4095

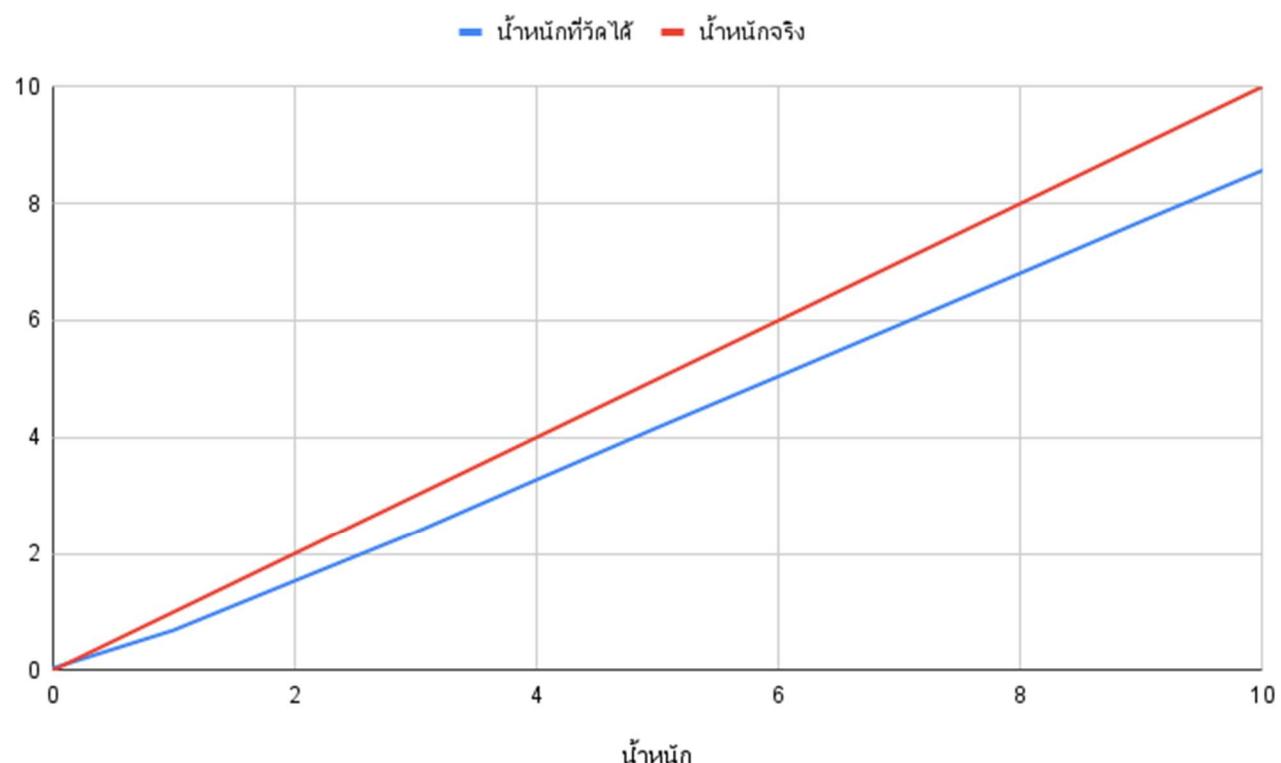
5.9.7.3 แปลงค่าจากบิทเป็นปอร์เซ็นต์

5.9.7.4 นำค่าที่ได้ไปเพล็อตกราฟ

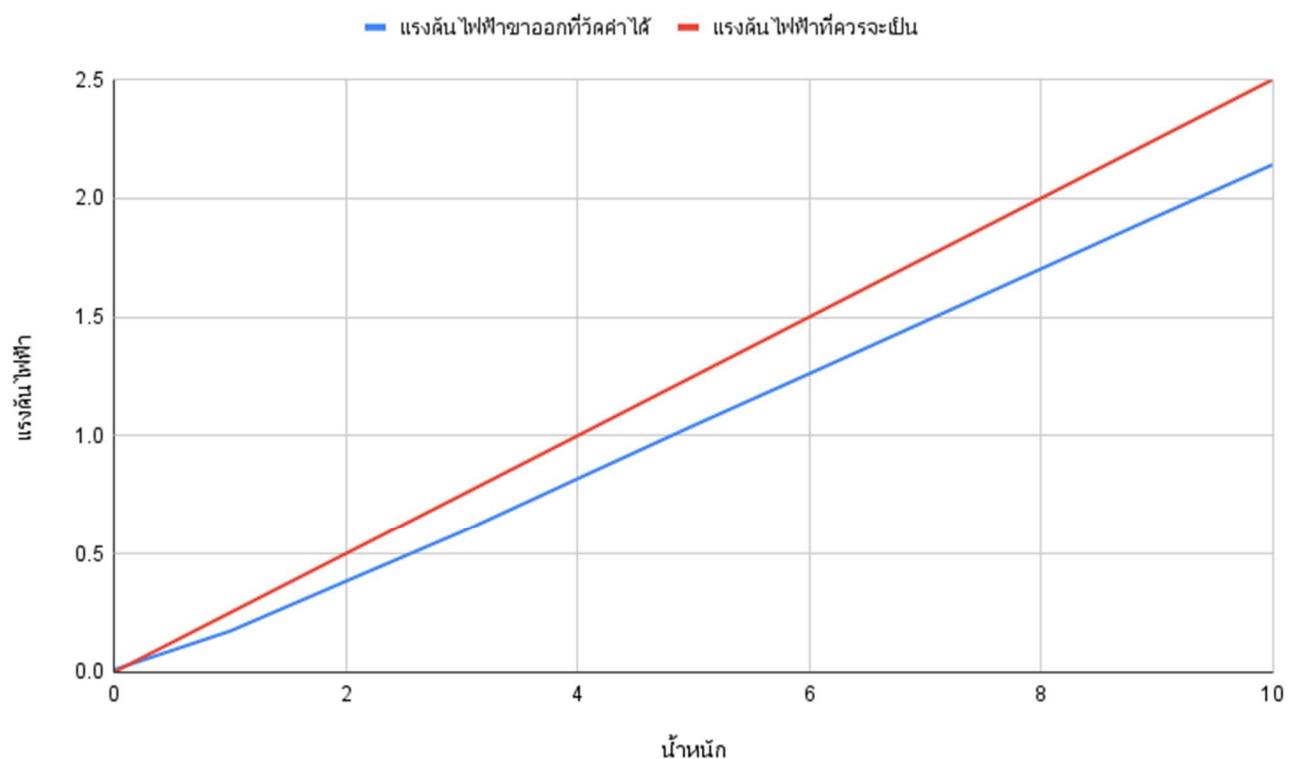
## 5.10 ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันข้าออกและนำหนักที่ใช้ทดลอง ได้ผลดังนี้

น้ำหนัก	น้ำหนักที่วัดได้
0	0.0393582417582418
1	0.689397802197802
2	1.53200586080586
3	2.37090695970696
4	3.27498608058608
5	4.17058754578755
6	5.04488205128205
7	5.92668717948718
8	6.81071648351648
9	7.69574505494505
10	8.56707399267399



น้ำหนัก	แรงดันไฟฟ้าข้าออกที่วัดค่าได้
0	0.00983956043956044
1	0.172349450549451
2	0.383001465201465
3	0.592726739926740
4	0.818746520146520
5	1.04264688644689
6	1.26122051282051
7	1.48167179487179
8	1.70267912087912
9	1.92393626373626
10	2.14176849816850



จากสมการ  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_z)^2}$  จะได้ค่า error อยู่ที่ 0.9125077066 กิโลกรัม

## 5.11 สรุปผล

จากการทดลอง พบร่วมกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ใช้ในการทดลองกับแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Relationship) อย่างชัดเจน โดยการเพิ่มหรือลดน้ำหนักจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขึ้นตามกับการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการแสดงผลในรูปกราฟระหว่างน้ำหนักและแรงดันไฟฟ้าจะปรากฏเป็นเส้นตรงที่มีความชันที่คงที่ อย่างไรก็ตาม ค่าความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้นในการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.9125077066 กิโลกรัม

## 5.12 อภิปรายผล

การอภิปรายผลการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ใช้ในการทดลอง กับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากเซนเซอร์ โดยจากการวัดและเก็บข้อมูลพบว่ามีความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear Relationship) ระหว่างน้ำหนักและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ว่าเมื่อมีการเพิ่มน้ำหนัก ที่ทำการทดลอง แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสร้างกราฟระหว่าง น้ำหนักและแรงดันไฟฟ้า เรายพบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งบ่งบอกถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มี ระหว่างสองตัวแปรนี้ อย่างไรก็ตาม การทดลองยังพบว่ามีค่าความผิดพลาด (Error) ที่มีค่าเท่ากับ 0.9125077066 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่ามีปัจจัยบางอย่างที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัด ค่าความผิดพลาดนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การตั้งค่าของเซนเซอร์ที่ไม่ถูกต้อง ความไม่สม่ำเสมอ ของน้ำหนักที่ใช้ในการทดลอง หรืออุปกรณ์วัดที่มีความคลาดเคลื่อน การตรวจสอบและวิเคราะห์ความ ผิดพลาดเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการวัดในอนาคต

## 5.13 ข้อเสนอแนะ

5.13.1 ปรับค่าอัตโนมัติของ load cell ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

5.13.2 เปลี่ยน multimeter ที่มีความแม่นยำมากขึ้น

## 5.14 เอกสารอ้างอิง

1.14.1 <https://www.ti.com/lit/gpn/INA125>

1.14.1 <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/YZC-131A.pdf>

1.14.1 <https://e2e.ti.com/support/amplifiers-group/amplifiers/f/amplifiers-forum/664299/ina125-load-cell-amplifier-circuit>

1.14.1 <https://howelectrical.com/strain-gauge/>

1.14.1 <https://www.electricaltechnology.org/2021/03/wheatstone-bridge.html>

