

## Lab1: System Identification

### คำชี้แจง

ใน lab นี้ประกอบไปด้วยเอกสาร 2 ชุดได้แก่

1. Guided Questions

ในส่วนนี้ไม่มีผลกับคะแนน ซึ่งพี่ ๆ คิดขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อให้น้อง ๆ สามารถเชื่อมโยงความรู้ในอดีตและในห้องเรียนเข้ากับการทำการทดลองได้
- เพื่อให้น้อง ๆ สามารถเข้าใจที่มาของกระบวนการหรือขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำการทดลองได้

2. Lab Instructions (เอกสารนี้)

เป็นส่วนของบอกขั้นตอนในการทำ lab ใน parts ต่าง ๆ โดยในแลปถัด ๆ ไปส่วนนี้จะถูกลดความละเอียดของขั้นตอนที่จะให้ลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งน้อง ๆ จะต้องเป็นผู้ออกแบบการทดลองเอง ซึ่งใน lab นี้จะมีขั้นตอนมาให้ทุกขั้นตอนสามารถทำตามได้เลย แบ่งได้เป็น 2 parts ดังนี้

- 2.1. การประมาณค่าความต้านทาน ( $R_m$ ) และค่าความเหนี่ยวนำ ( $L_m$ ) ของมอเตอร์ (ในส่วนนี้จำเป็นต้องใช้ Oscilloscope)
- 2.2. การประมาณค่าคงที่ของมอเตอร์ ( $J_m, B_m, K_e, K_m$ ) โดยใช้ Parameter Estimator ใน Simulink

\*\*การใช้งาน Oscilloscope และ Power Supply จะเปิดห้อง 501 ให้ใช้ในวันพุธและพฤหัสบดี เวลา 17.00-18.00 โดยจะเปิดให้ลง slot เวลาและสรุปรายชื่อทุกวันอาทิตย์หากเลยแล้วจะไม่สามารถลง slot ของสัปดาห์นั้นได้ ซึ่งใครลง slot แล้วขอความร่วมมือให้มาตามที่ลงด้วยเพื่อไม่ให้เป็นการกักสิทธิ์ของผู้อื่นครับ

โดยรายงานการทดลองที่ต้องส่งให้พี่ ๆ ตรวจสอบประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1. เลขกลุ่มและรายชื่อสมาชิก: ใส่ไว้หน้าแรกสุด
2. วัตถุประสงค์ (Objective):
3. ขั้นตอนการทดลอง (Methodology): ทำอะไรด้วยขั้นตอนอย่างไรบ้าง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง (Result and Analysis): visualize ผลการทดลองที่เก็บมาพร้อมมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว
5. อภิปรายและสรุปผล (Discussion and Conclusion): เปรียบเทียบผลจากการใส่ input signal หลาย ๆ แบบอภิปรายการทดลองและสรุปค่าของตัวแปรที่เหมาะสม

### รายละเอียดการส่งงาน

ให้น้อง ๆ ส่งรายงาน (Lab report) ตั้งชื่อไฟล์ตามแบบฟอร์มด้านล่างเพียงไฟล์เดียว(ไม่ต้องส่งไฟล์ .m หรือ .slx มา) โดยให้ตัวแทนกลุ่มส่งเพียงไฟล์เดียวเท่านั้น (หากชื่อไฟล์ผิดหรือมีการส่งซ้ำกันจะหักคะแนนรายงาน!!)

ชื่อไฟล์: FRA233\_LAB\_xx\_xx\_xx\_v#.pdf

V# คือ version เช่นในกรณีนี้ที่ส่งแล้ว( v1) มีการแก้ไขและส่งใหม่ไฟล์ที่ส่งมาใหม่ให้เป็น \_v2

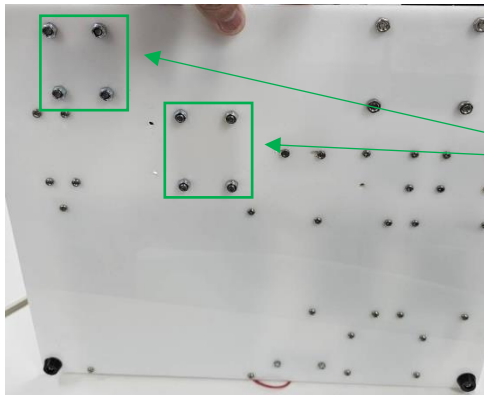
### วัตถุประสงค์ของ lab

1. เพื่อให้น้อง ๆ สามารถออกแบบการทดลองเพื่อหาค่า parameters ในระบบที่สนใจได้
2. เพื่อให้น้อง ๆ สามารถใช้ Parameter Estimator ใน Simulink ในการประมาณค่า parameters ที่สนใจในระบบใด ๆ ได้

### Hardware Preparation

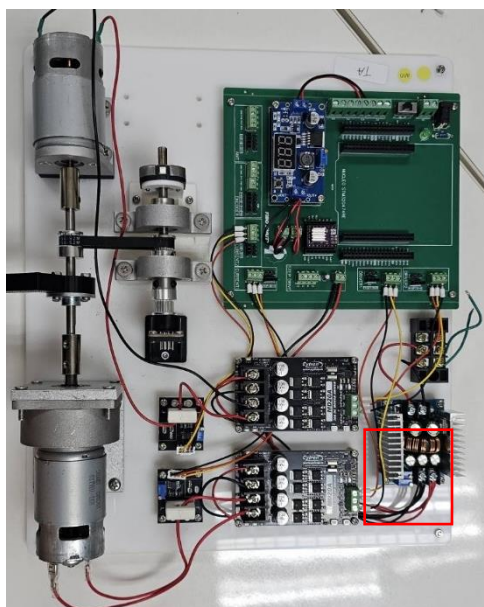
พี่ ๆ ปรบวงน้อง ๆ ในการตรวจสอบ Hardware สำหรับการทดลองดังนี้

1. ตรวจสอบความตึงของ belt ตามความเหมาะสมของแต่ละชุดอุปกรณ์การทดลอง โดยวิธีการสังเกตว่า belt ถูกตึงได้อย่างถูกต้องหรือไม่สามารถทำได้โดยเมื่อตึงแล้วไม่ทำให้เพลเกิดการโค้งงอ ไม่หย่อนจนทำให้เกิดการ slip กับ pulley
2. ถ้าหากคลาย coupling แล้วแต่เพลของ gear motor ยังหมุนตามน้อง ๆ สามารถตั้ง alignment ใหม่หากต้องการ แต่ห้ามถอด gear motor ออกได้เลย
3. ในบางชุด มอเตอร์ตัวเล็กและ bearing ได้ถูกเปลี่ยน nut ที่มียางกันคลายเรียบร้อยแล้ว แต่บางชุดจะยังไม่ได้ถูกเปลี่ยน หากน้องที่ได้ชุดที่ยังไม่ได้เปลี่ยน nut และประสคจะเปลี่ยน สามารถของ nut ไปเพิ่มเติมในวันรับอุปกรณ์ หรือหลังจากนั้นกับ TA



จุดที่เปลี่ยน nut

ภาพที่ A จุดที่เปลี่ยน nut



ภาพที่ B ตำแหน่ง regulator

## Table of Contents

คำชี้แจง.....	1
วัตถุประสงค์ของ lab .....	2
Hardware Preparation.....	2
Lab Instructions .....	4
1. การประมาณค่าความต้านทาน ( $R_m$ ) และค่าความเหนี่ยวนำ ( $L_m$ ) ของมอเตอร์ .....	4
1.1. Background Theory.....	4
1.2. อุปกรณ์.....	9
1.3. ขั้นตอนทำการทดลอง.....	9
2. การประมาณค่าคงที่ของมอเตอร์ ( $J_m, B_m, K_m, K_e$ ) โดยใช้ Parameter Estimator.....	14
2.1. Background Theory.....	14
2.2. อุปกรณ์.....	15
2.3. ขั้นตอนทำการทดลอง.....	15

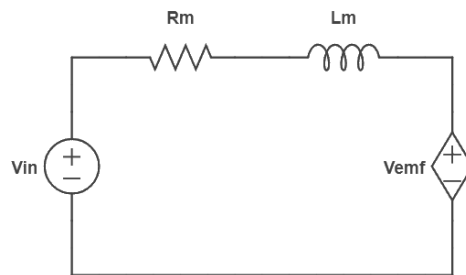
## Lab Instructions

เนื่องจากมอเตอร์ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าและระบบทางกล การทำ System Identification จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ใช้ความรู้ทางไฟฟ้าในการหาค่าคงที่ทางไฟฟ้า ซึ่งก็คือ ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำ และส่วนที่สองใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_e$  กับ  $K_m$  และ Parameter Estimator ใน Simulink เพื่อหาค่าคงที่  $J_m$ ,  $B_m$ ,  $K_e$  และ  $K_m$

### 1. การประมาณค่าความต้านทาน ( $R_m$ ) และค่าความเหนี่ยวนำ ( $L_m$ ) ของมอเตอร์

#### 1.1. Background Theory

แบบจำลองทางไฟฟ้าของมอเตอร์แปร่งถ่านสามารถถูกจำลองเป็นวงจร R-L ที่ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า back EMF ที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ โดยจะสามารถสร้างวงจรเทียบเคียง (Equivalent Circuit) ของมอเตอร์ได้ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 วงจรเทียบเคียงของมอเตอร์แปร่งถ่าน

โดยจากวงจรไฟฟ้าที่ได้จากภาพที่ 1.1 ทำให้เราสามารถเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$V_{in}(t) = V_{emf} + R_m I_m(t) + L_m \frac{dI_m(t)}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ  $V_{in}(t)$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

$I_m(t)$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์

$V_{emf}$  คือ แรงดันไฟฟ้า back EMF

$R_m$  คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของมอเตอร์

$L_m$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์

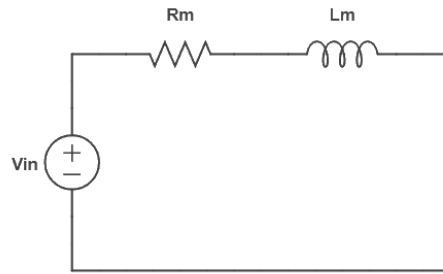
โดยแรงดันไฟฟ้า back EMF จะสามารถเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$V_{emf} = K_e \omega_m(t) \quad (2)$$

เมื่อ  $K_e$  คือ back emf constant

$\omega_m(t)$  คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

ดังนั้นจากสมการที่ (1) และ (2) หากเราสามารถทำให้มอเตอร์ไม่หมุน ( $\omega_m = 0$ ) เราจะสามารถลดรูปแบบจำลองของมอเตอร์ให้เป็นวงจร R-L ได้ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 วงจรเทียบเคียงของมอเตอร์แปร่งถ่านเมื่อทำให้มอเตอร์ไม่หมุน ( $\omega_m = 0$ )

ทำให้เราสามารถเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$V_{in}(t) = R_m I_m(t) + L_m \frac{dI_m(t)}{dt} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) เราจะสามารถหา Transfer Function ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้โดยการ ใช้ Laplace Transform โดยจะสามารถจัดรูปออกมาได้ดังนี้

$$\frac{I_m(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{L_m(s + \frac{R_m}{L_m})} \quad (4)$$

จากนั้นเราจะทำการจ่ายสัญญาณในรูปแบบ Unit-Step Response โดยกำหนดให้ Laplace Transform ของ Unit-Step Response คือ  $V_{in}(s) = \frac{V_{max}}{s}$  เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (4) จะได้

$$I_m(s) = \frac{V_{max}}{L_m} \left( \frac{1}{s(s + \frac{R_m}{L_m})} \right) \quad (5)$$

เมื่อทำการ Partial Fraction  $I_m(s)$  จะได้

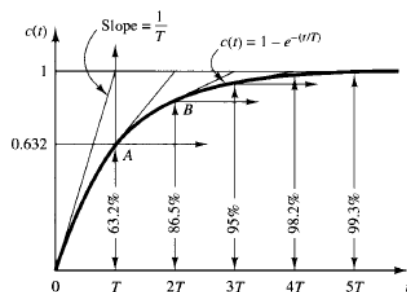
$$I_m(s) = \frac{V_{max}}{R_m} \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{R_m}{L_m}} \right) \quad (6)$$

เมื่อทำการ Inverse Laplace Transform จะได้

$$I_m(t) = \frac{V_{max}}{R_m} \left( 1 - e^{-\frac{R_m t}{L_m}} \right) = I_{max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (7)$$

เมื่อ  $I_{max}$  คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านมอเตอร์ โดยที่  $I_{max} = \frac{V_{max}}{R_m}$

$\tau$  คือ time constant โดยที่  $\tau = \frac{L_m}{R_m}$



ภาพที่ 1.3 กราฟผลตอบสนองของสมการที่ (7) โดยที่  $T = \tau$

โดยจากสมการที่ (7) เราจะสามารถวาดกราฟของผลตอบสนองออกมา แสดงในภาพที่ 3

จะสังเกตจากภาพที่ 1.3 หากเราแทนค่า  $t = \tau$  ลงในสมการที่ (7) จะได้ว่า

$$I_m(\tau) = I_{max}(1 - e^{-1}) = 0.632 I_{max} \quad (8)$$

และเมื่อเวลา  $t = 5\tau$  ระบบจะเข้าสู่ Steady State จึงทำให้เราสามารถประมาณได้ว่า  $I_m(5\tau) \approx I_{max}$  โดยหากเราสามารถรู้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เวลา  $t = 5\tau$  ได้เราก็จะสามารถประมาณค่าความต้าน  $R_m$  ได้ดังนี้

$$I_m(5\tau) = I_{max} = \frac{V_{max}}{R_m} \quad (9)$$

เมื่อทำการย้ายข้างสมการจะได้

$$R_m = \frac{V_{max}}{I_m(5\tau)} = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (10)$$

หลังจากที่เราสามารถหาค่า  $R_m$  ออกมาได้แล้วจะสังเกตว่าหากเราสามารถวัดค่า  $\tau$  ได้เราก็จะสามารถประมาณค่าความเหนี่ยวนำ  $L_m$  ได้ดังนี้

$$L_m = \tau R_m \quad (11)$$

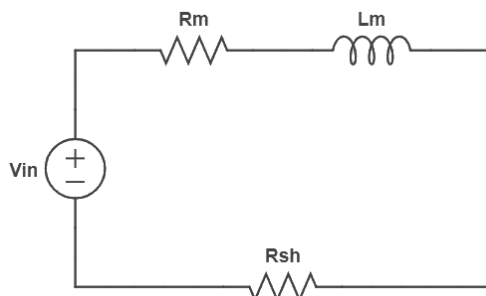
โดยค่า  $\tau$  จะสามารถวัดได้ดังนี้

$$\tau = t_{63.2\%} - t_{0\%} \quad (12)$$

เมื่อ  $t_{63.2\%}$  คือ เวลาที่ทำให้กระแสไฟฟ้า  $I_m(t) = 0.632I_{max}$

$t_{0\%}$  คือ เวลาที่เริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์

โดยจะสังเกตว่าขอเพียงเราสามารถวัดผลตอบสนองเชิงเวลาของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ไม่หมุน ( $\omega_m = 0$ ) ได้เราก็จะสามารถประมาณค่าความต้านทาน  $R_m$  และค่าความเหนี่ยวนำ  $L_m$  ได้ แต่เราจะพบว่าในความเป็นจริงแล้วเราจะไม่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ตรง ๆ ได้ด้วย Oscilloscope ได้ดังนั้นเราจะทำการนำตัวต้านทานที่ทราบค่า  $R_{sh}$  มาต่ออนุกรมเข้ากับวงจร แสดงในภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 วงจรเทียบเคียงของมอเตอร์แปรปรวนเมื่อทำให้มอเตอร์ไม่หมุน ( $\omega_m = 0$ )

จากนั้นเมื่อทำการนำตัวต้านทาน  $R_{sh}$  มาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรทำให้เราสามารถเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{in}(t) &= R_m I_m(t) + L_m \frac{dI_m(t)}{dt} + R_{sh} I_m(t) \\ &= (R_m + R_{sh}) I_m(t) + L_m \frac{dI_m(t)}{dt} \end{aligned} \quad (13)$$

เนื่องจากวงจรไฟฟ้านี้เป็นวงจรอนุกรม ดังนั้นหากเราสามารถวัดผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sh}$  ที่ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน  $R_{sh}$  เราจะสามารถหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_m(t) = \frac{V_{sh}(t)}{R_{sh}} \quad (14)$$

นอกจากนี้เมื่อเราทำการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าในช่วง Steady State เราจะสามารถหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{R_m + R_{sh}} \quad (15)$$

เมื่อทำการแทนค่าสมการที่ (14) และ (15) ลงในสมการที่ (7) จะได้

$$\frac{V_{sh}(t)}{R_{sh}} = \frac{V_{max}}{R_m + R_{sh}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (16)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการจะได้

$$V_{sh}(t) = \frac{R_{sh} V_{max}}{R_m + R_{sh}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (17)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ time constant โดยที่  $\tau = \frac{L_m}{R_m + R_{sh}}$

จากสมการที่ (17) หากเราวิเคราะห์ระบบของเราเมื่อเข้าสู่ช่วง Steady State จะได้ว่า

$$V_{sh}(5t) = \frac{R_{sh}V_{max}}{R_m + R_{sh}} \quad (18)$$

และเมื่อทำการจัดรูปสมการใหม่ เราจะสามารถหาค่าความต้านทาน  $R_m$  ออกมาได้ดังนี้

$$R_m = R_{sh} \left( \frac{V_{max}}{V_{sh}(5t)} - 1 \right) \quad (19)$$

จากนั้นเมื่อเราทำการวัดค่า  $\tau$  จากสมการที่ (12) เราจะสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำ  $L_m$  ได้ดังนี้

$$L_m = \tau(R_m + R_{sh}) = R_{sh} \left( \frac{\tau V_{max}}{V_{sh}(5t)} \right) \quad (20)$$

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้เราจำเป็นต้องทำให้แกนของมอเตอร์ไม่เกิดการหมุนดังภาพที่ 1.2 จากนั้นทำการต่อตัวต้านทาน  $R_{sh}$  ดังภาพที่ 1.4 และทำการวัดผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าที่  $R_{sh}$  จากนั้นทำการวัดค่า  $\tau$  โดยใช้สมการที่ (12) จากนั้นใช้สมการที่ (19) กับ (20) ในการหาค่าความต้านทาน  $R_m$  และ ค่าความเหนี่ยวนำ  $L_m$

ในการทดลองครั้งนี้เราไม่ได้ทำการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด  $V_{max}$  ที่สามารถจ่ายให้กับวงจรในภาพที่ 1.4 ไว้ให้ดังนั้นเราจำเป็นที่จะต้องทำการประมาณเอง และเนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ควรทำก่อนการหาค่าคงที่ต่างๆในมอเตอร์ ดังนั้นข้อมูลที่เรารู้เกี่ยวกับมอเตอร์มีเพียงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่มอเตอร์ทนได้อยู่ที่ 12V โดยเราจำเป็นต้องประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด  $V_{max}$  ที่สามารถจ่ายให้กับวงจรเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ เสียหาย

จากสมการที่ (13) หากเราพิจารณาระบบเมื่อเข้าสู่ Steady State ( $\frac{dI_m(t)}{dt} = 0$ ) และประมาณว่าค่าความต้านทาน  $R_m$  มีค่าน้อยมาก ( $R_m \approx 0$ ) จะได้

$$V_{in}(5t) = V_{max} = R_{sh}I_m(5t) \quad (20)$$

จากสมการที่ (25) หากเราพิจารณากำลังไฟฟ้า  $P_{sh}$  ที่ตัวต้านทาน  $R_{sh}$  จะได้

$$P_{sh} = \frac{V_{max}^2}{R_{sh}} \quad (21)$$

เมื่อทำการแก้สมการจะได้

$$V_{max} = \sqrt{P_{sh}R_{sh}} \quad (22)$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าได้จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$V_{max} = \min(\sqrt{P_{sh}R_{sh}}, 12) \quad (23)$$

หมายความว่าหากเราจะคำนวณแรงดันไฟฟ้าจากสมการที่ (22) และเทียบกับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่มอเตอร์ทนได้ และเลือกค่าที่น้อยที่สุดจะทำให้เรามั่นใจได้ว่าไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ เสียหาย



โดยสาเหตุที่เราสามารถประมาณด้วยวิธีนี้ได้เนื่องจาก หากเรากำหนดให้แหล่งจ่ายของเราคงที่ หากเราเพิ่มค่าความต้านทานของมอเตอร์  $R_m$  เข้าไปจะทำให้กระแสไฟฟ้าภายในวงจรไฟฟ้ามีแต่จะลดลงไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน  $R_{sh}$  ลดลงเช่นเดียวกัน

ในส่วนของมอเตอร์หากเราใช้แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 12V ยังไงกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ก็จะมีทางเกินจนทำให้มอเตอร์เสียหาย เนื่องจากตัวมอเตอร์ถูกออกแบบมาให้สามารถทนต่อการเกิด Stall Condition ในระยะเวลาช่วงหนึ่ง

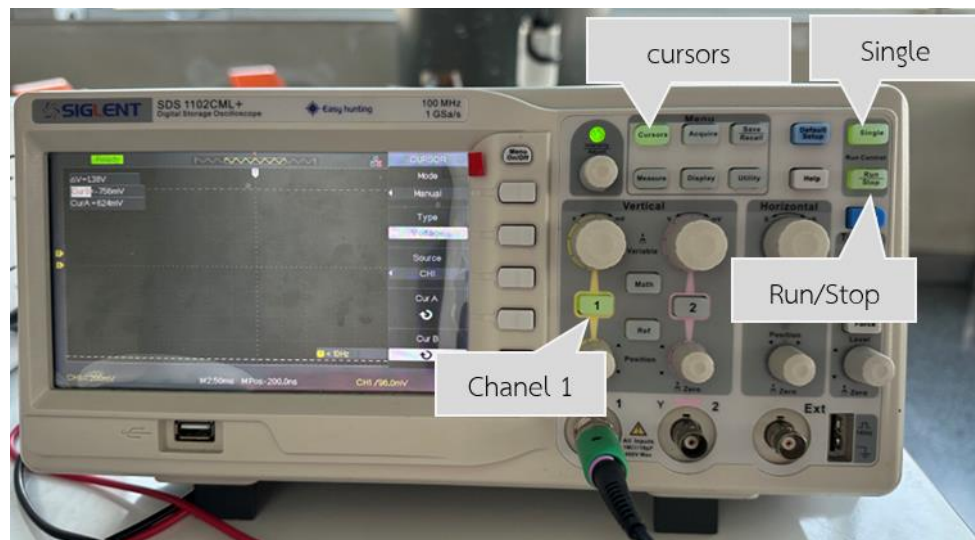
### 1.2. อุปกรณ์

1. ชุด Motor Board ของ RMX
2. Brushed DC motor.
3. Shunt Resistor
4. STM32 NUCLEO – G474
5. Oscilloscope
6. DC power supply

### 1.3. ขั้นตอนทำการทดลอง

เมื่อน้อง ๆ ทราบถึงความสัมพันธ์ที่จะหาค่า  $R_m$  และ  $L_m$  จากสมการด้านบนขั้นตอนต่อมาคือการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ต้องการ ขั้นตอนการทดลองเพื่อทำการเก็บค่าต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดวิธีการดังต่อไปนี้

1. ต้องจตามภาพที่ 1.4 จากนั้นทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟให้อยู่ที่แรงดันที่ต้องการ(ปรับจาก regulator บนบอร์ดตามภาพที่ B) ซึ่งสามารถหาแรงดันสูงสุดได้จากสมการ (28) และกระแสสูงสุดที่ 5 Amp.
2. เปิด oscilloscope -> กดปุ่มเปิด cursors , Single , Run/Stop และเลือก Chanel 1 เมื่อเปิดทุกปุ่มแล้วจะขึ้นไฟสีเขียวที่ปุ่มนั้น ๆ ดังภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.5 การเปิดฟังก์ชันการใช้งาน Oscilloscope

3. ทำการปรับ Volt div ให้อยู่ที่ 0.5 ของ  $V_{sh}$  สูงสุด (สามารถดูได้ที่กรอบสีแดง ในภาพที่ 1.6) และทำการหมุน Trigger level ให้อยู่ที่ 0.5 ของ  $V_{sh}$  สูงสุด (สามารถดูได้ที่กรอบสีน้ำเงิน ในภาพที่ 1.6)



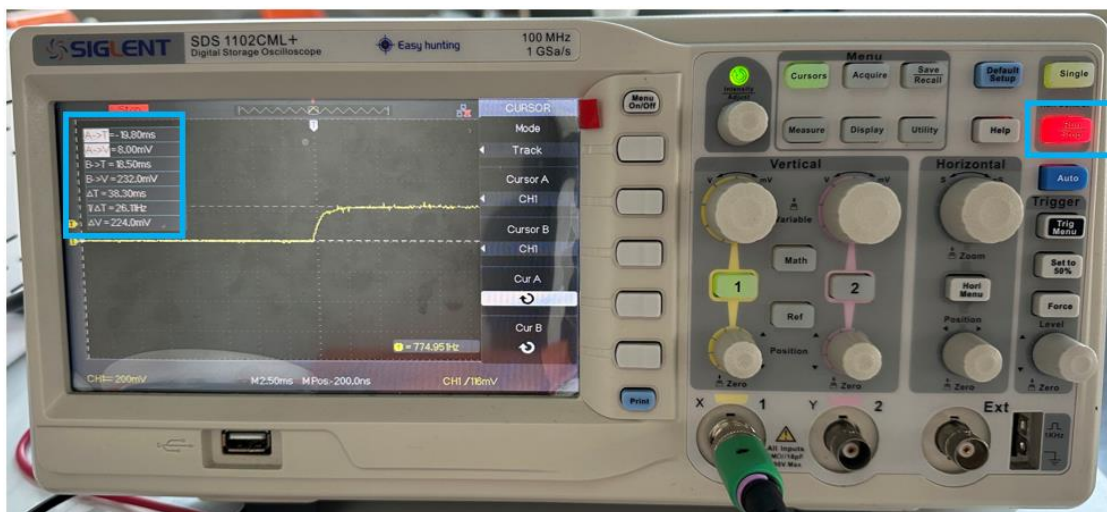
ภาพที่ 1.6 การตั้งค่า Volt Div. และ Trigger level ใน Oscilloscope

4. กดที่ปุ่มด้านข้างหน้าจอที่ตรงกับ manual แล้วหมุนปุ่ม Intensity/Adjust เลือกไปที่โหมด Track แล้วกดปุ่ม Intensity/Adjust หนึ่งครั้ง ดังภาพที่ 1.7 จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นที่ด้านซ้ายบนของจอภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.7 การเลือกฟังก์ชัน Track ใน oscilloscope

ในโหมด Track นี้น้อง ๆ จะสามารถอ่านค่าสัญญาณได้โดยกราฟจะหยุดโดยอัตโนมัติเมื่อแรงดันไฟฟ้าถึงจุดที่ตั้ง Trigger level ไว้ เมื่อเกิดการ Trig ปุ่ม Run/Stop จะเปลี่ยนเป็นสีแดง ดังภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 โหมด Track ใน oscilloscope

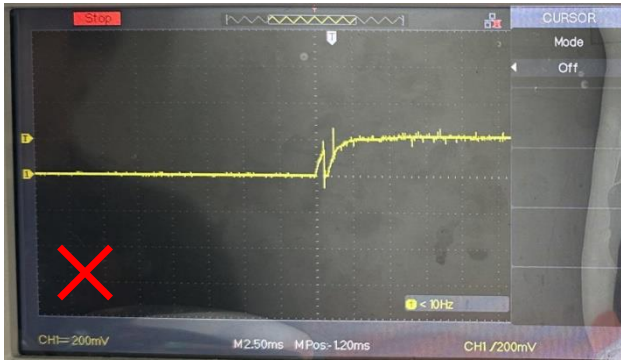
5. ทำการลือคเพลามอเตอร์ไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่โดยการวางคานไว้บนพื้นแข็งราบเรียบ ดังภาพที่ 1.9



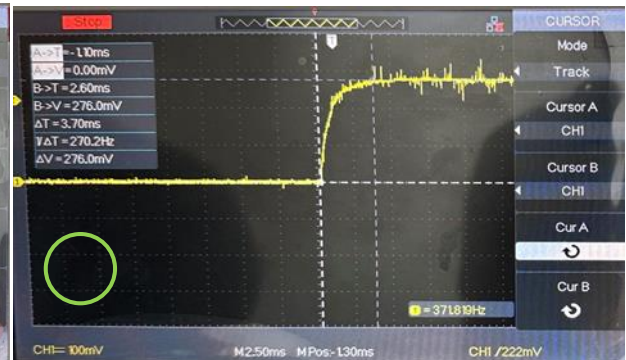
ภาพที่ 1.9 การลือคไม่ให้มอเตอร์ขยับ

6. เมื่อน้อง ๆ อยู่ในโหมด Track แล้ว ให้น้อง ๆ เปิด power supply และกด switch ที่ motor driver 1 ครั้งค้างไว้จนมีสัญญาณตอบสนองขึ้นที่ Oscilloscope ดังภาพที่ 1.8

7. รูปสัญญาณที่ได้ควรมีลักษณะดังภาพที่ 1.11 ถ้าหากได้รูปสัญญาณดังภาพที่ 1.10 ให้น้อง ๆ กดปุ่ม Run/Stop สีแดง ปุ่ม Run/Stop จะกลับเป็นสีเขียวแล้วเริ่มขั้นตอนที่ 5 อีกครั้ง



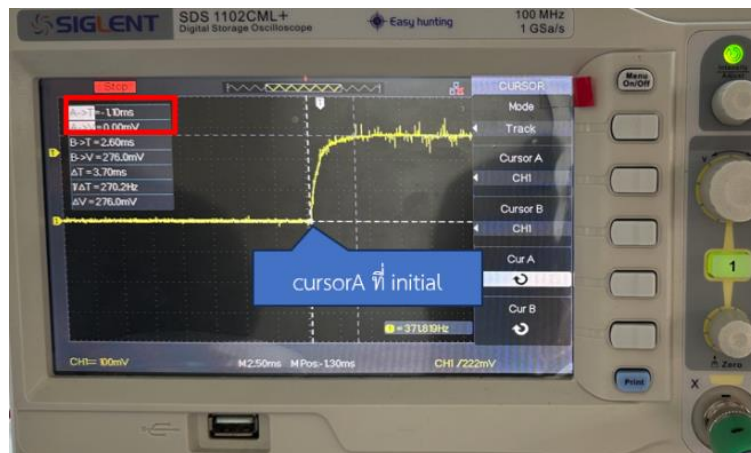
ภาพที่ 1.10 สัญญาณ *Transient* ที่ไม่เหมาะสมในการเก็บค่า



ภาพที่ 1.11 สัญญาณ *Transient* ที่เหมาะสมในการเก็บค่า

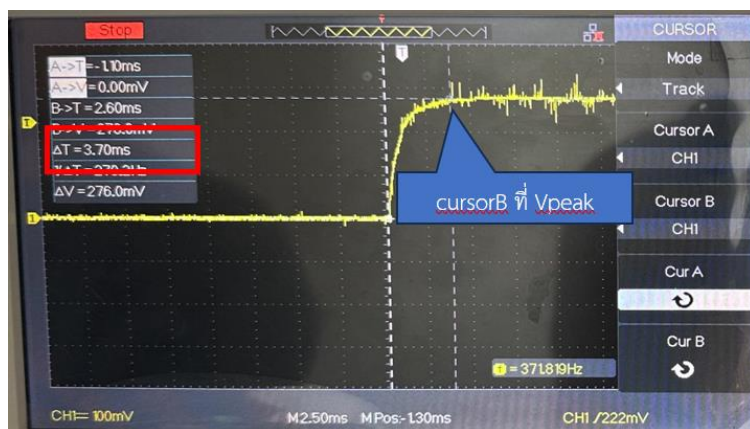
8. เมื่อได้รูปสัญญาณแล้วให้น้อง ๆ เลื่อน cursor A ไปยังจุด initial หรือ จุดที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0 v ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้างดภาพที่ 1.12 จากนั้นเลื่อน cursor B ไปยังจุดสูงสุดของสัญญาณ เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{sh}$  ดังภาพที่ 1.13 จากนั้นเลื่อน cursor B ไปยังจุดที่แรงดัน 63.2% ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sh}$  ณ จุดนี้จะได้แรงดันไฟฟ้าที่จุด 62.3% และจะสามารถอ่านค่า  $\tau$  ได้จาก delta T ดังภาพที่ 1.14

- การเลื่อน cursor A และ cursor B ทำได้โดยการกดปุ่มด้านข้างหน้าจอที่ตรงกับ CurA และ CurB ตามลำดับ จากนั้นสามารถเลื่อน cursor ได้ด้วยการหมุนปุ่ม Intensity/Adjust

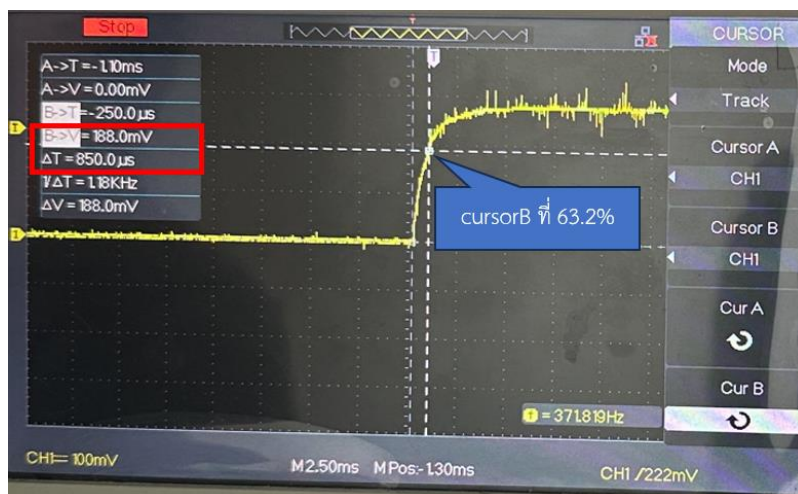


ภาพที่ 1.12 การปรับ *cursorA* ไปที่จุด *initial*





ภาพที่ 1.13 การปรับ cursorB ไปที่จุด Vpeak



ภาพที่ 1.14 การปรับ cursorB ไปที่จุด 63.2%

ตัวอย่างตารางสำหรับเก็บผล

$V_{in}[\text{volt}]$	$\max V_{sh}[\text{volt}]$	$63.2\% V_{sh}[\text{volt}]$	$\tau[\text{s}]$	$R_m[\text{ohm}]$	$L_m[\text{henry}]$

## 2. การประมาณค่าคงที่ของมอเตอร์ ( $J_m, B_m, K_e, K_m$ ) โดยใช้ Parameter Estimator

### 2.1. Background Theory

แบบจำลองทางกลของมอเตอร์จะสามารถจำลองได้โดยใช้กฎข้อที่ 2 ของ Newton's จะได้

$$J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} = T_m - B_m \omega_m(t) \quad (24)$$

เมื่อ	$T_m$	คือ แรงบิดของมอเตอร์
	$J_m$	คือ ค่าความเฉื่อย
	$B_m$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหนืด

โดยแรงบิดของมอเตอร์จะสามารถเขียนออกมาได้ดังนี้

$$T_m = K_m I_m(t) \quad (25)$$

เมื่อ	$K_m$	คือ torque constant
-------	-------	---------------------

หากพิจารณาสมการที่ (2) และ (25) จะพบว่าทั้งสองสมการแสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองทางไฟฟ้าและแบบจำลองทางกล ซึ่งหมายความว่าสมการทั้งสองนี้อธิบายการแปลงพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล ดังนั้น เราจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกำลังได้ดังนี้

$$P_{out} = \eta P_{in} \quad (26)$$

เมื่อ	$P_{in}$	คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดจาก back EMF โดยที่ $P_{in} = V_{emf} I_m(t)$
	$P_{out}$	คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ โดยที่ $P_{out} = T_m \omega_m(t)$
	$\eta$	คือ ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ในการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยที่ $\eta \in [0, 1]$

และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (2) และ (25) ลงในสมการที่ (26) จะได้

$$K_m = \eta K_e \quad (27)$$

จากสมการที่ (27) จะทำให้เราเห็นความเชื่อมโยงระหว่างค่าคงที่  $K_m$  และ  $K_e$  โดยเราจะพบว่าค่าของ  $K_m \leq K_e$  เสมอ ดังนั้นในการใช้ Block Parameter Estimation เราจะไม่สามารถประมาณค่า  $K_m$  ที่เข้ากับเงื่อนไขดังกล่าวออกมาได้ตรง ๆ แต่จะต้องทำการประมาณค่า  $\eta$  แทน เนื่องจากเราไม่สามารถกำหนดให้  $K_m \leq K_e$  เสมอได้ แต่เราสามารถกำหนดขอบเขตของค่า  $\eta$  ได้

## 2.2. อุปกรณ์

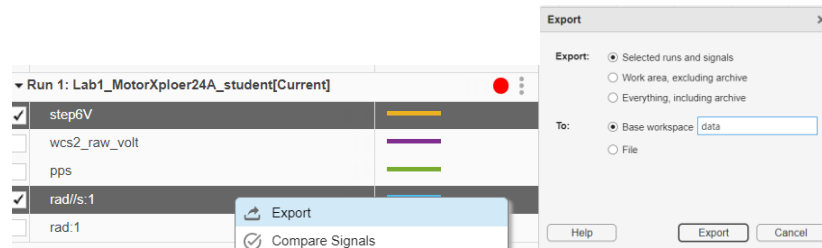
7. ชุด Motor Board ของ RMX
  1. Brushed DC motor.
  2. MATLAB/Simulink (2024a ขึ้นไป )
  3. STM32 NUCLEO – G474
  4. DC power supply

## 2.3. ขั้นตอนทำการทดลอง

จากที่น้อง ๆ ทราบถึงค่า  $R_m$  และ  $L_m$  แล้วในส่วนการทดลองนี้ จะใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink เป็นเครื่องมือในการหาค่า  $J_m, B_m, K_e$  และ  $K_m$  ของระบบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

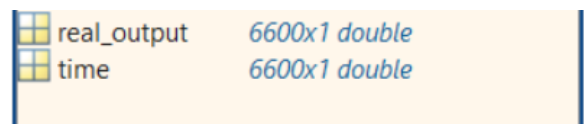
## Prerequisites

- น้อง ๆ **จะต้องมี Block Diagram** ของมอเตอร์ในไฟล์ Simulink ที่ชื่อว่า Lab1\_parameter\_estimation.slx ก่อนที่จะใช้งาน Parameter Estimator
- น้อง ๆ จะต้องเก็บข้อมูลของความเร็วและ voltage input (ควรลองสัญญาณหลาย ๆ ชนิดเช่น step, stair step, sin, ramp, etc. แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน) ของมอเตอร์ไว้ใน workspace ของ MATLAB ก่อนซึ่งสามารถเก็บได้จากไฟล์ Lab1\_MotorXploer24\_Students.slx ผ่าน Data Inspector ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การ export จาก Data Inspector

1. ให้น้อง ๆ สร้างตัวแปร Array ชื่อ “real\_output” และ “time” ขนาด Nx1 double โดยที่ N คือจำนวน timestep ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างการสร้างตัวแปร “real\_output” และ “time”

เมื่อ **real\_output** คือ ค่า output ที่เก็บได้จากระบบจริง ในการทดลองนี้คือความเร็วของมอเตอร์  
**time** คือ เวลา (timestamp ของชุดข้อมูลที่เก็บมา)

2. ใส่ค่า  $R_m$  และ  $L_m$  จากการทดลองส่วนตัวแปรที่เหลือสามารถใส่ค่าใดก็ได้ใน Lab1\_motor\_params\_student.m จากนั้นกดรันไฟล์ ใน workspace ควรมี variables ดังภาพที่ 2.3

Name ▲	Value	
motor_B	1.0000e-04	ใส่ค่าใดก็ได้
motor_Eff	0.5000	
motor_J	1.0000e-03	
motor_Ke	0.0500	
motor_L	<input type="text"/>	← ค่า $L_m$ ที่หาได้
motor_R	<input type="text"/>	← ค่า $R_m$ ที่หาได้

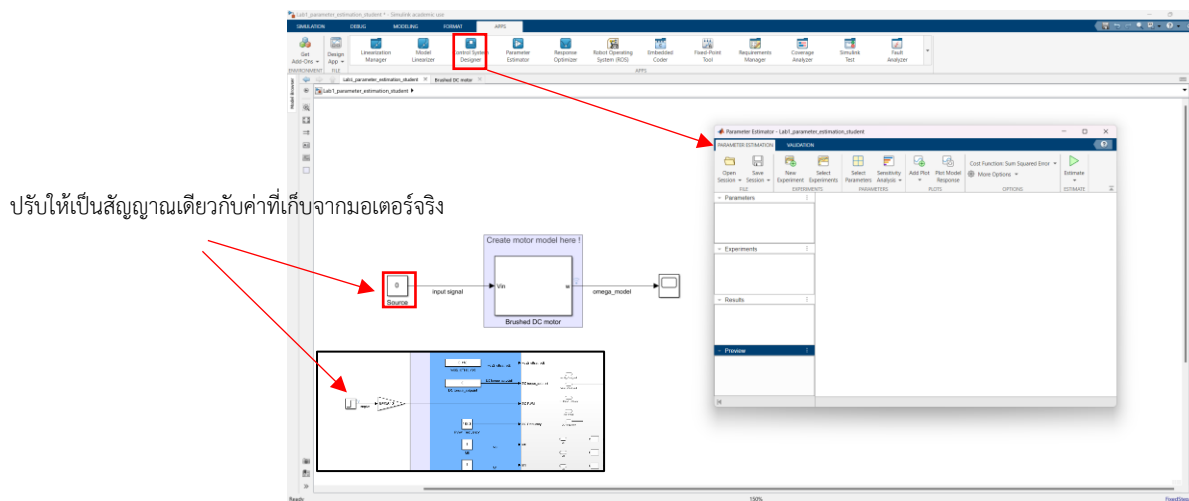
ภาพที่ 2.3 ผลลัพธ์จากไฟล์ Lab1\_motor\_params\_student.m

motor_B	1.0000e-04
motor_Eff	0.5000
motor_J	1.0000e-03
motor_Ke	0.0500
motor_L	<input type="text"/>
motor_R	<input type="text"/>
real_output	5001x1 double
time	5001x1 double

ภาพที่ 2.4 ตัวแปรใน workspace ที่ต้องมีการใส่ค่าก่อนรัน

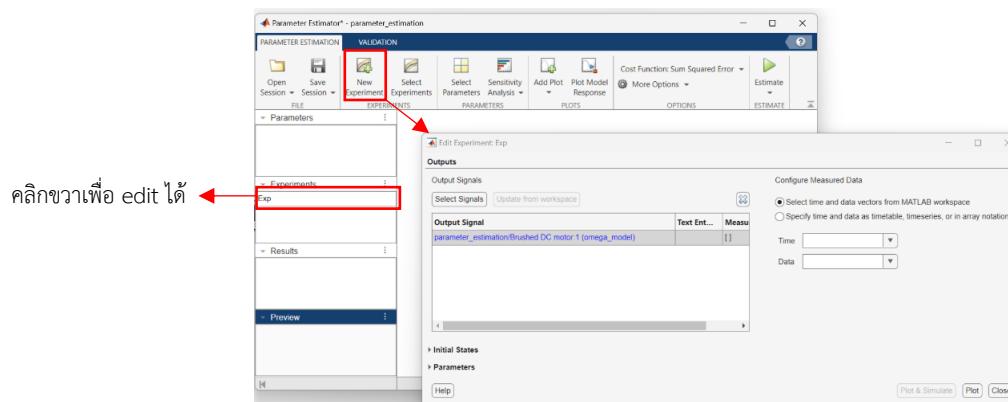
- เปิดไฟล์ Lab1\_parameter\_estimation\_student.slx -> Apps -> Parameter Estimator ดังภาพที่ 2.5





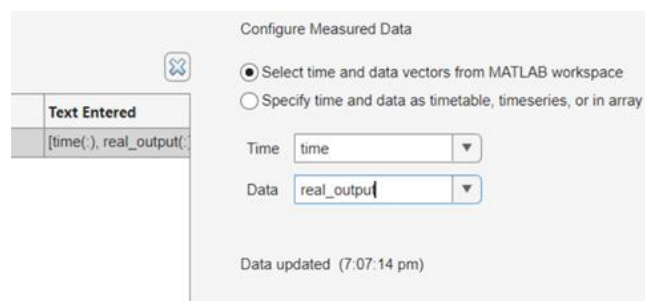
ภาพที่ 2.5 การเข้าไปยัง *Parameter Estimator* ใน *Simulink*

4. กด New Experiment ดังภาพที่ 2.5



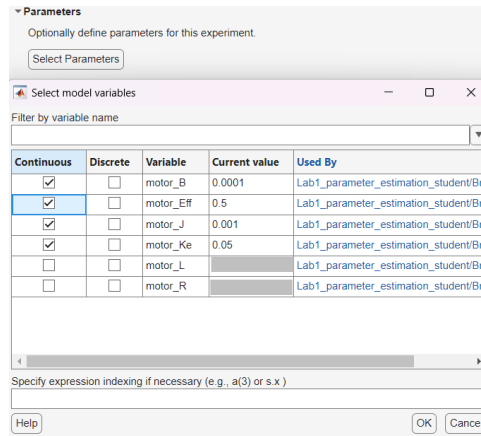
ภาพที่ 2.6 ผลลัพธ์หลังจากกด *New Experiment*

5. ใส่ Time และ Data ตามภาพที่ 2.7



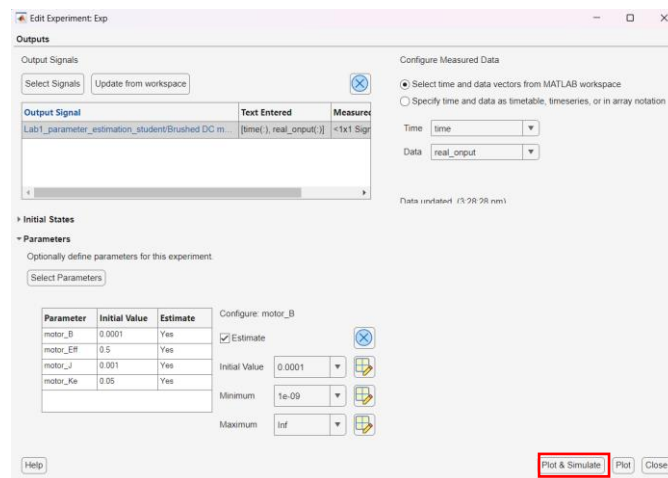
ภาพที่ 2.7 การใส่ข้อมูลที่ *Time* และ *Data*

6. เลือก parameters ที่ต้องการ optimize แล้วกด OK ดังภาพที่ 2.8



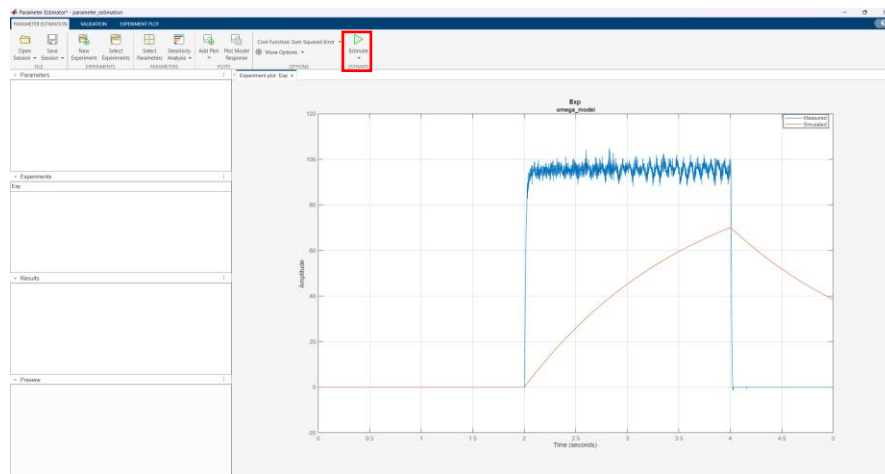
ภาพที่ 2.8 parameters ที่ต้องเลือก

7. ตั้ง minimum ของทุกตัวให้เป็น  $1e-09$ , maximum ของ motor\_Eff เป็น 1 และ Initial Value ตามค่าในไฟล์ Lab1\_motor\_params\_student.m หรือเลือกเองก็ได้ (ใน 2025a จะมีช่องสำหรับใส่ scale ซึ่งไม่จำเป็นต้องปรับ) จากนั้นกด **Plot & Simulate** ดังภาพที่ 2.9



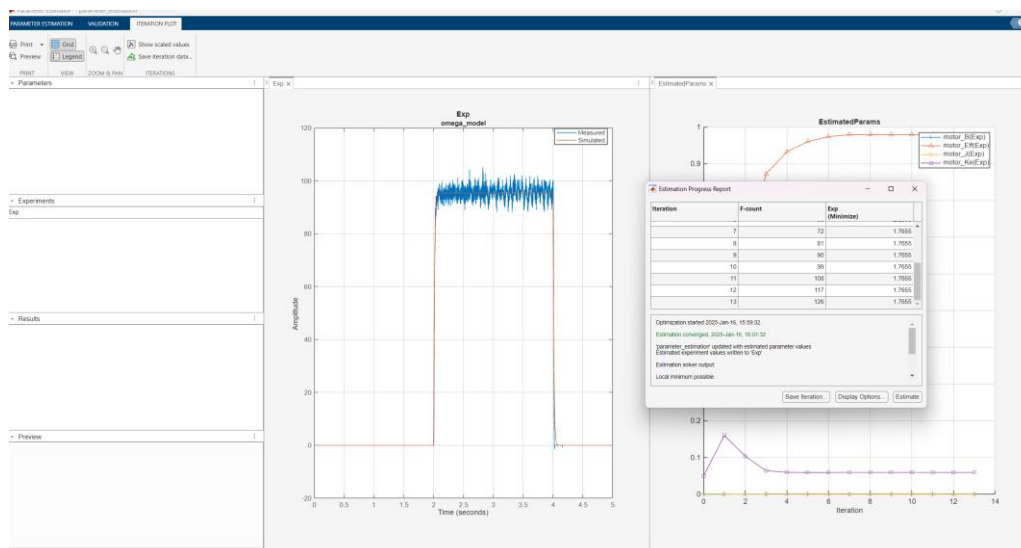
ภาพที่ 2.9 การตั้ง Initial Value

8. ผลลัพธ์จากขั้นก่อนหน้าจะออกมาเป็นกราฟที่เปรียบเทียบผลระหว่าง model และค่าที่เก็บจากมอเตอร์จริง สีฟ้าจะเป็นค่าที่เราวัดได้จริงจากมอเตอร์ (real\_output) และสีส้มเป็นค่าที่ได้จาก Block Diagram ที่มี parameter ที่เราใส่ไว้ใน workspace จากนั้นกด Estimate เพื่อทำการประมาณค่าตัวแปร (หลังจากโปรแกรมเริ่มทำงานจะใช้เวลาสักพักคอมพิวเตอร์อาจจะใช้เวลาไม่เท่ากัน และค่าที่ได้อาจไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง)



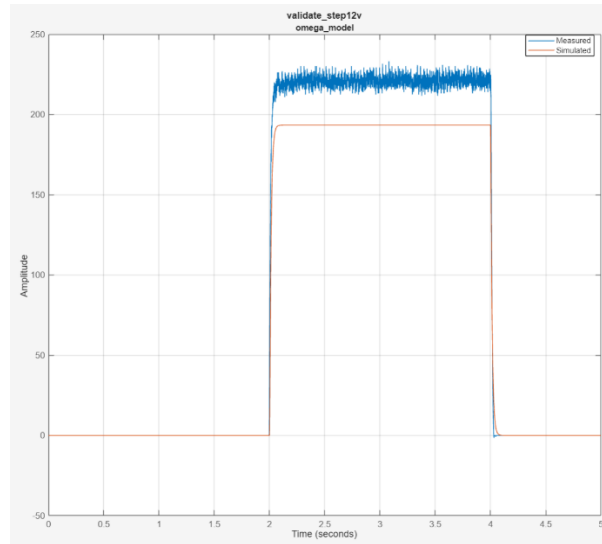
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างผลลัพธ์ก่อน Estimate โดยใช้ step input 6V

9. ค่าของตัวแปรที่ถูก optimize แล้วจะถูก update ใน workspace อัตโนมัติ เมื่อโปรแกรมทำการ optimize เสร็จจะขึ้นผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างผลลัพธ์หลัง Estimate โดยใช้ step input 6V

10. validate ค่าที่ได้ด้วยการทำไปใช้กับ input อื่น ๆ จากนั้นหาค่าที่บ่งบอกถึงความ fit กันระหว่างค่าจากมอเตอร์จริงและค่าจาก model เช่น  $R^2$  หรืออื่น ๆ เป็นต้น



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างการนำผลลัพธ์จาก *step input 6V* ไปใช้กับ *step input 12V*

11. ทดลองกับสัญญาณ input อื่น ๆ

ตัวอย่างตารางสำหรับเก็บผล

Input signal	$J_m$	$B_m$	$\eta$	$K_e$	$K_m$

ตัวอย่างตารางสำหรับการ Validate

		Validation Signal			
		input 1	input 2	input 3	...
Input Signal	input 1	ค่า $R^2$			
	input 2				
	input 3				
	⋮				