

Lab 2: PID Controller Design

คำชี้แจง

ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วยเอกสาร 2 ชุดได้แก่

1. Guided Questions

ในส่วนนี้ไม่มีผลกับคะแนนแต่อาจจะมีนำไปออกในข้อสอบ ซึ่งพี่ ๆ คิดขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อให้น้อง ๆ สามารถเชื่อมโยงความรู้ในอดีตและในห้องเรียนเข้ากับการทำการทดลองได้
- เพื่อให้น้อง ๆ สามารถเข้าใจที่มาของกระบวนการหรือขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำการทดลองได้

2. Lab Instructions (เอกสารนี้)

เป็นส่วนของบอกขั้นตอนในการทำการทดลองใน parts ต่าง ๆ โดยในการทดลองถัด ๆ ไปส่วนนี้จะถูกลดความละเอียดของขั้นตอนที่จะให้ลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งน้อง ๆ จะต้องเป็นผู้ออกแบบการทดลองเอง แบ่งได้เป็น 2 parts ดังนี้

Part 1 Single loop PID controller design: ออกแบบ position controller

Part 1.1 P controller design คำนวณหาช่วงของ controller gain (K_p) ที่เหมาะสมกับ requirements และยังสามารถรักษา stability ของระบบ

Part 1.2 PID controller design อธิบายผลกระทบของการปรับค่า controller gain (K_p, K_i, K_d) สามารถใช้วิธีไหนก็ได้ในการปรับจูน

Part 2 Cascade loop PID controller design: ออกแบบ position และ velocity controller พร้อมกับการใช้งาน feedforward

โดยรายงานการทดลองที่ต้องส่งให้พี่ ๆ ตรวจสอบประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1. เลขกลุ่มและรายชื่อสมาชิก (ใส่ไว้หน้าแรก)
2. วัตถุประสงค์ (Objective)
3. ขั้นตอนการทดลอง (Methodology): ระบุแผนที่วางไว้ในทำการทดลอง และแจกแจงขั้นตอนของการทดลองเพื่อทำตามแผนที่
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง (Result and Analysis): บันทึกผลการทดลองด้วยเครื่องมือวัดและวิธีการที่เชื่อถือได้ มีการ visualize ผลการทดลองที่เก็บมาพร้อมมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว
5. อภิปรายและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อธิบาย insight ที่น่าสนใจจากผลของการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เก็บมา เปรียบเทียบผลจากการใส่ input signal หลาย ๆ แบบ และสรุปค่าของตัวแปรที่เหมาะสม
6. น้อง ๆ มีอิสระในการเพิ่มหัวข้อที่จำเป็นด้วยตนเอง หัวข้อหรือรายละเอียดอื่น ๆ

รายละเอียดการส่งงาน

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

ชื่อไฟล์: FRA233_LAB2_xx_xx_xx_v#.pdf

V# คือ version เช่นในกรณีที่ส่งแล้ว(v1) มีการแก้ไขและส่งใหม่ไฟล์ที่ส่งมาใหม่ให้เป็น v2

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

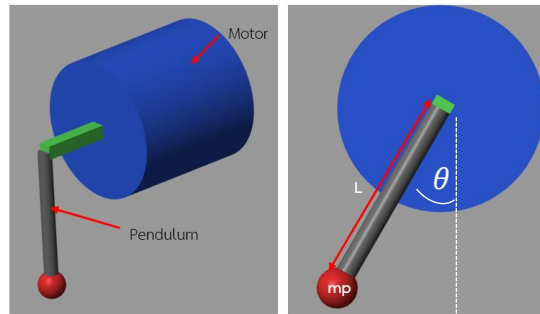
1. เพื่อให้สามารถออกแบบ PID controller ได้ตาม requirements ที่กำหนดไว้
2. เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบของการปรับค่า controller gain (K_p, K_i, K_d)
3. เพื่อให้สามารถใช้ Controller Design Toolbox ในการปรับจูน controller gain ได้
4. เพื่อให้สามารถออกแบบและใช้งาน Cascade PID controller และ Feed Forward ได้

Table of Contents

คำชี้แจง.....	1
วัตถุประสงค์ของการทดลอง	2
Lab Instructions	3
1. Part 1 Single loop PID controller design.....	3
1.1. Background Theory.....	3
1.2. ไฟล์ที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.3. ขั้นตอนทำการทดลอง Part 1.1 P controller design.....	4
1.4. ขั้นตอนทำการทดลอง Part 1.2 PID controller design.....	5
2. Part 2 Cascade loop PID controller design	5
2.1. Background Theory.....	5
2.2. ไฟล์ที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3. ขั้นตอนทำการทดลอง.....	5
3. LAB's Criteria.....	6

Lab Instructions

จากการทดลองที่แล้วเราได้หา parameters ของมอเตอร์ ในการทดลองนี้จะเป็นการออกแบบ controller เพื่อที่จะควบคุมมอเตอร์ให้ไปขับระบบ Vertical Pendulum (plant) ซึ่งการทดลองนี้ถูกออกแบบมาให้มีความใกล้เคียงกับระบบของวิชา studio เพื่อให้ห้อง ๆ มีความคุ้นเคยก่อนที่จะได้นำความรู้ไปใช้กับระบบจริงที่ในวิชา studio ได้ออกแบบไว้



ภาพที่ a. Vertical Pendulum with motor

ระบบ Vertical Pendulum ประกอบไปด้วย point mass ที่มีมวล mp อยู่ที่ปลาย massless link ยาว L จุดหมุนต่อกับมอเตอร์โดยตรง โดยมุม θ ที่วัดได้จาก absolute encoder 16 bit เริ่มวัดจากตำแหน่งซึ่งลงเป็น 0 rad และ Pendulum มี input เป็น torque (τ) จากมอเตอร์

1. Part 1 Single loop PID controller design

1.1. Background Theory

- Introduction to feedforward + Disturbance feedforward:

https://drive.google.com/drive/folders/1ltRWTiPOb-SFgK_0tEmvOjN7ljpdzpP?usp=drive_link

- Introduction to Feedforward Control
- Reference Feedforward Design
- Disturbance Feedforward Design

- Gravity compensation (Lecture 10 : Part 4 - 6):

https://youtube.com/playlist?list=PLdvGKCGi4z3q-hOpyrGe7mqUbpw_zVyiP&si=YolH5bGqz3OAGmTx

- Part 1 – 3 : สอนการตั้งค่า Multibody Simscape สำหรับคนที่สนใจใช้การสร้างแบบจำลอง Pendulum
- **Part 4 – 6 : สอน Concept ในการออกแบบ Controller (ต้องดู !!!!)**
- Part 7-10 : เหมาะสำหรับนักศึกษาที่อยากจำลองระบบหลายข้อต่อ

- เนื้อหาในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง

1.2. ไฟล์ที่เกี่ยวข้อง

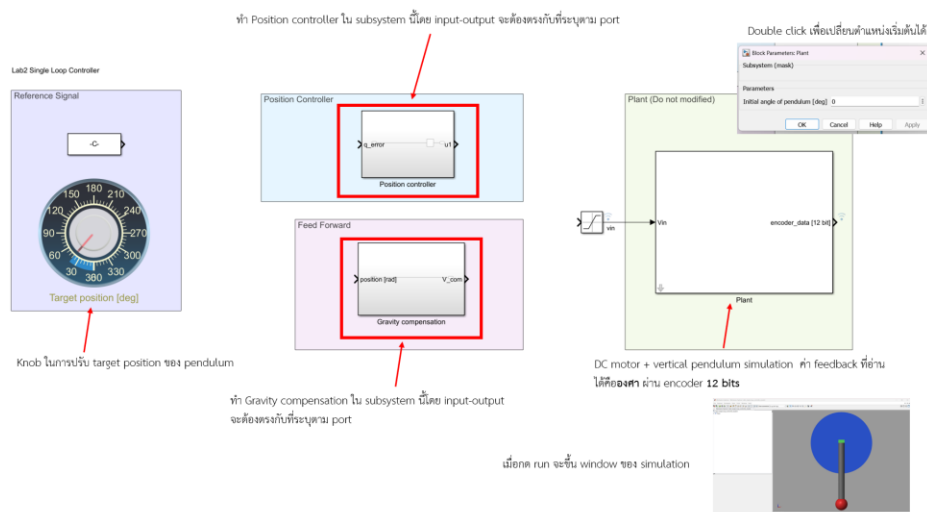
1. ไฟล์ Lab2_params_student.m สำหรับใส่ค่า parameters ของมอเตอร์และ pendulum
2. ไฟล์ Lab2_single_loop_controller_student.slx สำหรับ simulation

1.3. ขั้นตอนทำการทดลอง Part 1.1 P controller design

- คำนวณหาช่วงของ controller gain (K_p) ที่ทำให้ระบบสามารถทำได้ตาม requirements ดังนี้

Requirements	Value	Unit
% Overshoot	$\leq 10\%$	<i>rad</i>
Peak Time (T_p)	≤ 3	<i>sec</i>
แรงดันไฟฟ้า (V_{in})	$[-12,12]$	<i>volt</i>

- คำนวณหาช่วงของ controller gain (K_p) ที่ทำให้ระบบยังรักษา stability ไว้ได้
- กำหนดช่วงของ controller gain (K_p) ที่ทำให้ระบบสามารถทำได้ตาม requirements และยังรักษา stability ไว้ได้
- แก้ไขค่า parameters ของมอเตอร์ใน Lab2_params_student.m ด้วยค่าจากการทดลองที่ 1 (Lab1) และกด run
- สร้าง P controller และ gravity compensation ใน Lab2_single_loop_controller_student.slx



ภาพที่ 1.1 Lab2_single_loop_controller_student

- นำค่า controller gain ที่ได้มาใช้กับ simulation เปรียบเทียบผลจากการคำนวณและจาก simulation
- แสดงให้เห็นว่า controller ที่ออกแบบมายังสามารถใช้งานได้กับ parameters ของมอเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากค่าเดิม (ลองปรับค่า parameters ของมอเตอร์ให้ค่าต่างจากเดิมเล็กน้อย)

1.4. ขั้นตอนทำการทดลอง Part 1.2 PID controller design

- เปลี่ยนจาก P เป็น PID controller ในไฟล์ Lab2_single_loop_controller_student.slx
- ปรับค่า controller gain (K_p, K_i, K_d) ที่ละค่า สังเกตผลกระทบของแต่ละค่าตาม criteria
- ปรับจูน controller gain (K_p, K_i, K_d) ที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบสามารถทำได้ตาม requirements และยังรักษา stability ไว้ได้ด้วย *Controller Design Toolbox*

Requirements	Value	Unit
% Overshoot	≤ 5	%
Settling Time $\pm 2\%$ (T_s)	≤ 2.5	sec
Absolute steady state error	$\leq 4 \times 10^{-3}$	rad

- Validate and verify controller ที่ออกแบบมาว่าตรงตาม requirements

2. Part 2 Cascade loop PID controller design

2.1. Background Theory

1. Cascade control (part 7):

https://youtube.com/playlist?list=PLdvGKCGi4z3q-hOpyrGe7mqUbpw_zVyiP&si=YolH5bGqz3QAGmTx

2. Reference feedforward:

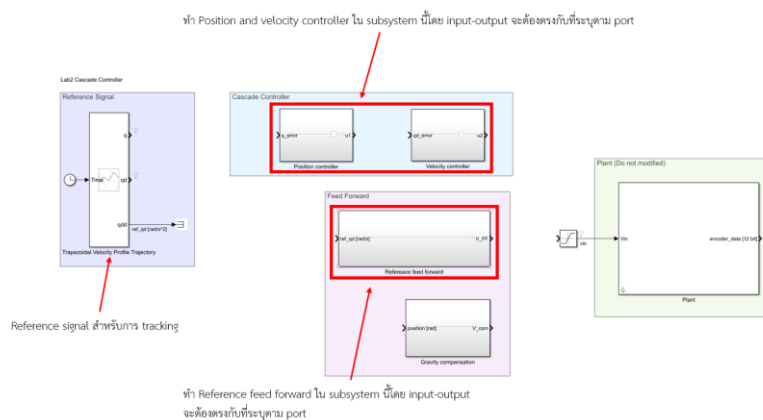
https://drive.google.com/drive/folders/1ltRWTiPOb-SFgK_0tEmvOjN7ljpdzpP?usp=drive_link

2.2. ไฟล์ที่เกี่ยวข้อง

- ไฟล์ Lab2_params_student.m
- ไฟล์ Lab2_cascade_loop_controller_student.slx

2.3. ขั้นตอนทำการทดลอง

- สร้าง PID controller และ gravity compensation ใน Lab2_single_loop_controller_student.slx



ภาพที่ 2.1 Lab2_single_loop_controller_student

- ปรับจูน controller gain (K_p, K_i, K_d) ของทั้ง Cascade Controller ด้วยวิธีใดก็ได้โดยที่ยังทำให้ระบบสามารถทำได้ตาม requirements ดังนี้

Requirements	Value	Unit
% Overshoot (velocity)	≤ 2	%
Absolute tracking error (velocity)	≤ 0.02	$rad\ s^{-1}$
% Overshoot (position)	≤ 2	%
Absolute tracking error (position)	$\leq 4 \times 10^{-3}$	rad

- Validate and verify controller ที่ออกแบบมาว่าตรงตาม requirements
- เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ Reference feed forward และการที่ไม่ใช้ Reference feed forward

3. LAB's Criteria

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1wNXlh5o645GCSgeSolruYkPZzuEp6tbOFd4YavAqvJE/edit?usp=sharing>