

การออกแบบระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับกระบวนการความดัน
ADVANCED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับกระบวนการความดัน
ADVANCED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK



b00264519
TB00014

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADVANCED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

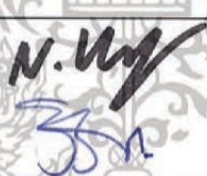
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การออกแบบระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับควบคุมกระบวนการความดัน
ADVACED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนกร หมิ่นหนู รหัสนักศึกษา 57010534
นายธนวัฒน์ กิรติไพศาล รหัสนักศึกษา 57010563
นายสินสุข สงวนตระกูล รหัสนักศึกษา 57011351

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.นภศุล วงษ์วานิช รศ.วิริยะ กองรัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การออกแบบระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับกระบวนการความดัน ADVANCED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนกร	หมื่นหนู	รหัสนักศึกษา	57010534
	นายธนวัฒน์	กิริติไพศาล	รหัสนักศึกษา	57010563
	นายสินสุข	สงวนตระกูล	รหัสนักศึกษา	57011351
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.นภศูล	วงษ์วานิช		
ปีการศึกษา	2560			

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ ของระบบถังความดันอากาศแบบ ปฏิสัมพันธ์เพื่อการออกแบบตัวควบคุม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังความดันได้ถูกพัฒนาจาก หลักการสมดุลมวล หรือพลังงานซึ่งแบบจำลองจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ของกระบวนการสมดุลดังกล่าวของมวลถูกแทนด้วยสมการอนุพันธ์ พบว่าสมการดังกล่าวไม่เป็นเชิง เส้น ทำให้เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีอนุกรมเทย์เลอร์และแปลงให้อยู่ในรูปแบบโดเมนความถี่โดยลาปลาซซึ่ง ต่อไปจะเรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนโดยการจำลอง สถานการณ์บนโปรแกรม เพื่อสังเคราะห์กรรมวิธีในการเจาะจงระบบ ในการนำมาใช้กับผลตอบสนอง ของระบบปฏิบัติการจริง เพื่อนำมาออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสมโดยวิธีการ PID และ LQR หลัง ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง แล้วดำเนินการวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนความดันต่อไปเพื่อ สังเคราะห์ตัวแปรควบคุม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ตัวแปรควบคุม จะทำให้การ ควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ตามข้อกำหนดทั้งระบบปฏิบัติการจริง และโปรแกรมจำลองผลการ ทดลองแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้อธิบายการทำงานของ กระบวนการ และนำมาใช้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

Thesis Title	ADVANCED CONTROL DESIGNS OF PRESSURE TANK
Authors	Mr. Tanakorn Muenu Mr. Thanawat Kiratiphaisarl Mr. Sinsook Sanguantrakul
Thesis Advisor	Dr. Napasool Wongvanich
Year	2017

ABSTRACT

This project investigates the advanced control designs of the pressure tank process. The mathematical model of a pressure tank is developed based on the principle of mass or energy balance, which is represented by a set of differential equation. The transfer function of the system is found firstly through the use of linearization, then converted into the frequency do through the Laplace Transform. System Identification is then used on the collected data to determine the Mathematical model of the plant. The resolving model and its associated parameters are used to design the PID and LQR based controllers. It was found that the coefficients derived from the systhesis of control variables would allow the control to reach the target values according to both the real operating system and the simulator. Experimental results demonstrate the benefits of mathematical models that describe the behavior of the process and are used to adjust the parameter of the controller.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้จะประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รศ.วิริยะ กองรัตน์ และ ดร.นภศูล วงษ์วานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม ปริญญาบัตรของคณะวิจย อีกทั้งยังสนับสนุนงบประมาณ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำ ปริญญาบัตรนี้ คณะวิจยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ตั้งแต่เริ่มเข้าการศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่ส่งเสริม การศึกษาและอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำ ปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	14
3.1 โครงสร้างระบบถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	15
3.1.1 Transmitter.....	15
3.1.2 Terminal.....	15
3.1.3 DAQ (Data acquisition).....	16
3.2 ขั้นตอนในการเก็บค่า.....	16
3.2.1 การต่อสาย.....	16
3.2.2 การเก็บข้อมูล.....	17
3.3 ลักษณะของระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	18
3.4 การบันทึกค่าจากระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	19
3.5 การทำ Mathematical Modeling และ System Identification.....	21
3.6 การสังเคราะห์ตัวควบคุมด้วยวิธีการ LQR(Linear Quadratic Regulator).....	23
3.7 การควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	27
4.1 การทดสอบการทำงานของกระบวนการ.....	27
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 สรุปงานวิจัย.....	29
5.1.1 สรุปผลในการดำเนินการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	29
5.1.2 สรุปผลในการดำเนินการสังเคราะห์ตัวควบคุม.....	30
5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อ.....	30
บรรณานุกรม.....	31
ภาคผนวก.....	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าและการ Fitting ด้วยสมการ $y = mx + b$	3
2.2 อุปกรณ์ DAQ.....	5
2.3 แสดง Block Diagram ของการควบคุมแบบวงเปิด.....	6
2.4 แสดง Block Diagram ของการควบคุมแบบวงปิด.....	6
2.5 ลักษณะสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วน.....	7
2.6 แบบจำลองระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	12
2.7 Control Valve.....	12
2.8 แสดงส่วนประกอบต่างของวาล์ว Valtex Mark One.....	13
2.9 หน้าจอแสดงการใช้งานโปรแกรม.....	13
2.10 LabVIEW.....	14
3.1 Transmitter.....	15
3.2 Terminal.....	15
3.3 อุปกรณ์ DAQ.....	16
3.4 ระบบสัญญาณของ DAQ.....	17
3.5 แบบจำลองในส่วนของการแสดงค่าบนหน้าจอ.....	17
3.6 แบบจำลองในส่วนของการเก็บข้อมูลจากกระบวนการ.....	18
3.7 หน้าจอแสดงผลในขั้นตอนของการเก็บค่า.....	18
3.8 ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....	19
3.9 ค่าที่บันทึกได้ในรูปกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง.....	19
(สีฟ้า) และถังที่สอง (สีแดง) กับเวลา โดยที่แกน y คือค่าความดันอากาศและแกน x คือเวลา	
3.10 กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (สีฟ้า) และถังที่สอง.....	20
(สีแดง) กับเวลา หลังจากทำ Linear Least Squares โดยที่แกน y คือ	
ค่าความดันอากาศหน่วยเป็น psi และแกน x เวลาหน่วยเป็นวินาที	
3.11 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองคณิตศาสตร์ระบบปฏิบัติการ.....	21
ถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์	
3.12 Block Diagram ของ Close Loop.....	22
3.13 แสดงระบบการควบคุมแบบปิด.....	23

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 แบบจำลองโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บ.....	25
ความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์	
3.15 หน้าจอแสดงผลโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บ.....	26
ความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์	
4.1 กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันอากาศ (psi) ภายในถังที่สอง (T-02) กับเวลา.....	27
ขณะควบคุม	
4.2 ผลตอบสนองของความดันอากาศของระบบปฏิบัติการเมื่อเริ่มการทดลอง.....	27
4.3 ผลตอบสนองของความดันอากาศของระบบปฏิบัติการเมื่อควบคุมด้วยLQR.....	28



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญญานิพนธ์

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบระบบควบคุม Pressure Tank เพื่อที่จะควบคุมความดันให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยศึกษาทฤษฎี PID และ LQR นำมาออกแบบตัวควบคุม หลังจากที่ได้คำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมจากการเจาะจงระบบ (System Identification)

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

เพื่อที่จะนำความรู้จากการศึกษาทฤษฎี PID และ LQR แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวควบคุมของถังความดันที่สามารถกำหนดความดันให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ และผลตอบสนองมีความเสถียรโดยสร้างมาจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ผ่านทฤษฎี PID และ LQR

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ

- 1.ศึกษาการควบคุมแบบย้อนกลับ (Feedback Control)
- 2.ศึกษาการใช้โปรแกรม Matlab เพื่อหาสมการที่นำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ
- 3.ศึกษาการควบคุมโดยวิธีการ PID/LQR เพื่อนำมาใช้ในการสร้างตัวควบคุม
- 4.เพื่อให้สามารถควบคุม Pressure Tank ให้มีความดันตามที่ต้องการ และมีความเสถียรที่สุด

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของ Pressure Tank
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Matlab , Labview
3. Simulator ในโปรแกรม Matlab โดยการสมมุติสมการ
4. เก็บข้อมูลความดันที่วัดได้จาก Pressure Tank โดยใช้โปรแกรม Labview
5. นำสมการที่ได้จาก Simulator และ Plant มาเปรียบเทียบ
6. ปรับแต่งสมการ เพื่อให้ควบคุม Plant ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7. เขียนรายงานเล่มโครงการ และสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การใช้ Matlab หาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถนำไปควบคุม
2. การควบคุมแบบย้อนกลับ (Feedback Control)
3. สามารถนำหลักการควบคุมความดันของถังความดันอากาศนี้ไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมในลักษณะอื่นๆได้อย่างถูกต้องเหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 Mathematical Model และ System Identification

วิธีที่รวบรวมเอาข้อมูลอินพุต-เอาต์พุตที่เก็บรวบรวมมาจากการทดลองจริงแล้วนำมาเข้าสู่วิธีการสร้างเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ หรือทำให้ออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือที่เรียกว่าการเจาะจงระบบ (System-Identification) ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ได้แบบจำลองของระบบที่เป็นรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ได้ตรงตามระบบที่ได้ทำการทดลองและเป็นระบบที่ให้ความสนใจ และรูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้จะอยู่ในรูปโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณ การทำนายระบบ การวิเคราะห์ระบบ และให้แสดงผลในทางการวิเคราะห์ได้หลายทาง เช่น แสดงผลเป็นกราฟ หรือเป็นตัวเลขข้อมูล

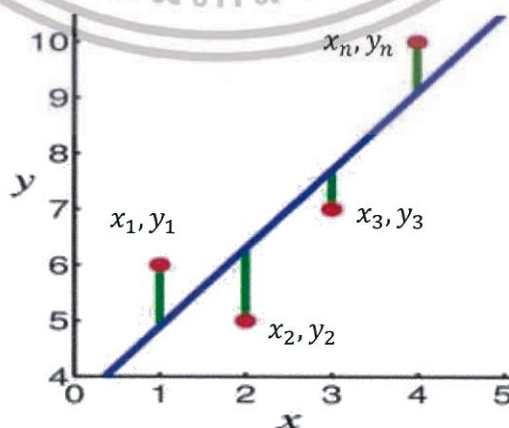
2.1.1 Linear least squares method

เป็นวิธีที่เหมาะสมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในกรณีที่ค่าในอุดมคติจากแบบจำลอง เพื่อสร้างกราฟจุดข้อมูลเชิงเส้นในรูปแบบของค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของแบบจำลอง ผลลัพธ์จะใช้สรุปข้อมูล และคาดการณ์ค่าที่สังเกตไม่ได้จากระบบเดียวกัน เพื่อทำความเข้าใจกลไก ที่เป็นส่วนสำคัญของระบบ

เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้นสำหรับ Method of Least Squares จะทำการ Fit สมการเส้นตรง $Y = mx + b$ ไปยังค่าที่เก็บมาได้ ซึ่งคือ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ตามรูปที่ 2.1 แล้วนำมาเขียนเป็น n สมการดังนี้

$$Y_i = mX_i + b \quad (2.1)$$

เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการเก็บค่าและการ Fitting ด้วยสมการ $y = mx + b$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำสมการที่ได้มาเขียนให้อยู่ในรูปสมการ Matrix ให้อยู่ในรูปแบบของ $Ax = b$ และเนื่องจากเป็นระบบที่มีสมการมากกว่า Unknowns จึงจำเป็นต้องแก้สมการด้วยวิธีการ Minimize The Sum of Squares

$$V = \|Ax - b\|^2 \quad (2.2)$$

$$V = (Ax - b)^T(Ax - b) \quad (2.3)$$

$$V = (X^T A^T - b^T)(Ax - b) \quad (2.4)$$

$$V = X^T A^T Ax - x^T A^T b - b^T Ax + b^T b \quad (2.5)$$

$$V = x^T A^T Ax - 2x^T A^T b + b^T b \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 2A^T Ax - 2A^T b = 0 \quad (2.7)$$

$$A^T Ax - A^T b = 0 \quad (2.8)$$

$$A^T Ax = A^T b \quad (2.9)$$

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 DAQ



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ DAQ

จากรูปที่ 2.2 Data Acquisition ทำหน้าที่ในการประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณ อนุาล็อคให้มาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ Boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณอนุาล็อค (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนุาล็อค (D/A Conversion) เขียนและอ่านสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ DAQ รุ่น NI-USB-6009 ที่มีรายละเอียดดังนี้

14-bit, 48 kS/s AI: 8 SE/4 DIFF channels

12-bit, 150 Hz AO: 2 channels

12 software-timed bidirectional DIO lines

One 32-bit, 5 MHz counter/timer

USB bus powered

2.3 การควบคุม

การควบคุม (control) โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การควบคุมด้วยมนุษย์ (Manual Control) และ การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control)

2.3.1 การควบคุมแบบวงเปิด (Open Loop Control System)

เป็นระบบที่ไม่มีการนำเอาที่พุดกลับมาเปรียบเทียบกับ การตอบสนองที่ต้องการ โดยมีตัวควบคุม (Controller) สำหรับสร้างสัญญาณเพื่อควบคุม Plant และ ตัวขับเคลื่อน (Actuator) สำหรับควบคุม Plant ด้วยสัญญาณที่รับจากตัวควบคุม เช่น มอเตอร์ กระจบอกไฮดรอลิก วาล์ว เป็นต้น ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดง Block Diagram ของการควบคุมแบบวงเปิด

2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด (closed-loop control system)

ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-Loop Control System) หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) เป็นระบบที่มีการนำเอาต์พุตกลับมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ โดยมีส่วนวัดค่า (Measuring Element) วัดเอาต์พุตหรือการตอบสนอง เช่น เซนเซอร์ ตัวเปรียบเทียบ (Comparison) เปรียบเทียบเอาต์พุตกับเอาต์พุตที่ต้องการ หรืออินพุต ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง Block Diagram ของการควบคุมแบบวงปิด

2.3.2.1 การควบคุมแบบ PID (Proportional Integrated Controller) [3]

PID Control เป็นการควบคุมในระบบวงปิดคือระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับประกอบด้วยส่วนการควบคุมที่สำคัญดังนี้

Proportional Action การควบคุมแบบสัดส่วนเป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุด หลักการคือสัญญาณควบคุม $u(t)$ จากตัวควบคุมที่ส่งไปปรับกระบวนการ มีค่าเป็นสัดส่วนกับความคลาดเคลื่อน ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูป

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.11)$$

โดยที่ K_p คือค่าอัตราขยายและ

$$e(t) \triangleq \text{ความคลาดเคลื่อน} = \text{ค่ากำหนด} - \text{ค่าวัด}$$

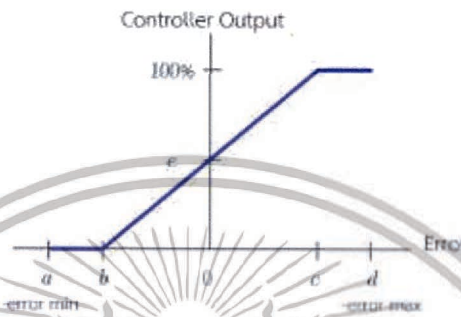
ตัวควบคุมบางตัวสัญญาณเข้าและสัญญาณออกอาจมีหน่วยต่างกัน เช่นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ความดัน เพื่อหลีกเลี่ยงการแปลงหน่วย ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณออกและสัญญาณเข้าของตัวควบคุมอาจแสดงเป็นแถบสัดส่วน (Proportional Band หรือ %PB) โดยที่แถบสัดส่วนคือพิสัยของสัญญาณเข้าที่ทำให้ตัวควบคุมปฏิบัติงานเต็มพิสัยการทำงาน หรือถ้ามองจากตัวควบคุม แถบสัดส่วนคือช่วงความคลาดเคลื่อนที่ทำให้สัญญาณออกของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดไปต่ำสุด โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของพิสัยสัญญาณเข้าตัวควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและเปอร์เซ็นต์แถบสัดส่วนคือ

$$K_p = 100 \% PB \quad (2.12)$$

โดยลักษณะสมบัติของการควบคุมแบบสัดส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

จากรูป 2.5 ค่าเปอร์เซ็นต์แถบสัดส่วน (%PB) คือระยะ bc แม้ความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ ยังมีสัญญาณค่าหนึ่งออกจากตัวควบคุมที่ป้อนให้กับกระบวนการ ค่านี้ทำหน้าที่เป็นไบแอส (Bias) ทำให้ระบบทำงานที่จุดทำงานต่อไปได้ โดยทั่วไป สัญญาณค่านี้นักจะถูกตั้งให้เท่ากับ 50% ของสัญญาณขาออกสูงสุดของตัวควบคุม นั่นคือ

$$\text{สัญญาณออก} = \% \text{ ความคลาดเคลื่อน} \% \text{ แถบสัดส่วน} + 50\% \quad (2.13)$$

นอกจากนี้ ตัวควบคุมมีย่านทำงานที่เป็นเชิงเส้นช่วงหนึ่ง โดยทำหน้าที่เป็นตัวขยาย (Amplifier) แต่หากความคลาดเคลื่อนมีมากเกินไปเกินระดับหนึ่ง ตัวขยายจะอิ่มตัวทำให้สัญญาณออกมีค่าคงที่ การควบคุมแบบสัดส่วนนี้สามารถควบคุมระบบได้ดีพอสมควร เหมาะสมกับกระบวนการที่ต้องการผลตอบสนองรวดเร็วและยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนขนาดคงที่ขนาดหนึ่ง

Integral Action ผลตอบของการควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับการควบคุมแบบอินทิกรัลสามารถอธิบายได้ในสมการ

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt) \quad (2.14)$$

เมื่อ K_p คืออัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$e(t)$ คือความคลาดเคลื่อน

T_i คือ integral time (วินาที)

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการของตัวควบคุมแบบสัดส่วน ความแตกต่างอยู่ตรงที่เทอมไบแอส นั่นคือตัวควบคุมแบบสัดส่วน ถูกจำกัดด้วยสวอนไบแอสเป็นค่าคงที่ สวอนการควบคุมแบบอินทิกรัลมีการสะสมความคลาดเคลื่อนในการปรับแต่งไบแอส (นั่นคือทำหน้าที่เป็นตัวอินทิกรัล) และจะหยุดสะสมเมื่อความคลาดเคลื่อนของระบบเป็นศูนย์ เมื่อผลตอบเขาที่สมบูรณ์แล้ว เทอมไบแอสของระบบจะมีค่าน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน การทำงานในลักษณะเช่นนี้มีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันรีเซตด้วยมือ (Manual - Reset Function) ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกตัวอินทิกรัลว่าฟังก์ชันรีเซต (Reset Function) คุณสมบัติของตัวอินทิกรัลในการกำจัดความคลาดเคลื่อน (หรือออฟเซต) เป็นขอตัวอย่างมาก จึงเป็นที่นิยมใช้กับระบบควบคุมป้อนกลับ อย่างไรก็ตามตัวอินทิกรัลก็มีข้อเสีย นั่นคือทำให้เกิดการลาหลัง (Capacity - Like Lag) และทำให้ช่วงเวลาของการแกว่งยาวนานขึ้น โดยทั่วไประบบแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล จะมีช่วงเวลาของการแกว่งนานกว่าระบบเชิงสัดส่วน อย่างเดียว 50% หรือ $TPI = 1.5TP$ สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลา (time constant) น้อย (เช่น ระบบควบคุมอัตราการไหล) ปัญหานี้จะไม่มีผลมากนัก แต่สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลามาก (เช่น ระบบควบคุมระดับ) ปัญหานี้อาจมีผลมากจนทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับได้ การควบคุมแบบอินทิกรัล มีลักษณะเช่นเดียวกับการควบคุมสัดส่วนตรงผลกระทบของการเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุม หากอัตราขยายมีค่ามากเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของระบบมีการแกว่ง โดยทั่วไป Integral time ($T_i = 1/K_i \text{ sec}$ โดยที่ $K_i = \text{repeats/sec}$) เป็นตัวแสดงว่า อัตราการตอบสนองของกระบวนการต่อสัญญาณการควบคุมค่า T_i ที่น้อยกว่าจะทำให้ตัวควบคุมมีการตอบสนองที่เร็วกว่าในระยะเริ่มต้น โดยที่ความคลาดเคลื่อนยังเป็นค่าบวกอยู่ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจะเป็นศูนย์ (ซึ่งทำให้เทอม $\int_0^t e(t)dt$ หยุดทำงาน) เทอมไบแอสก็จะมีค่าสูงกว่าที่ต้องการ ดังนั้นผลตอบสนองจึงเกิดสวอนพุ่งเกิน (Overshoot) สูงกว่าค่ากำหนด เป็นผลให้ตัวอินทิกรัลทำหน้าที่ปรับให้ความคลาดเคลื่อนมีคาลดลง

Derivative Action ตัวควบคุมแบบสัดส่วนและแบบอินทิกรัลต่างก็มีข้อจำกัดอยู่ที่ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการควบคุมกระบวนการ แต่ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่สามารถรู้ได้ล่วงหน้าโดยพิจารณาจากแนวโน้มของความคลาดเคลื่อน หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตัวอนุพันธ์มีหลักการการทำงานคือ ตัวควบคุมตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนถึงแม้ว่าความคลาดเคลื่อนมียังค่าน้อยอยู่ สัญญาณออกของตัวอนุพันธ์ไม่ได้สัมพันธ์กับขนาดของความคลาดเคลื่อนแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อน ถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ ตัวอนุพันธ์จะให้สัญญาณออกเป็นศูนย์ คุณลักษณะข้อนี้นี้มีผลดีคือตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมจะมีผลตอบสนองที่เกิดก่อนที่ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มมากขึ้น และทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$u(t) = K_p(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (2.15)$$

โดย derivative time (T_d) เป็นเวลาที่แสดงถึงผลตอบสนองเนื่องจากตัวอนุพันธ์

การเพิ่ม T_d จะทำให้ผลตอบสนองของตัวอนุพันธ์มีความมากขึ้น เนื่องจากตัวอนุพันธ์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้กับค่าที่วัดได้นั้นแต่ไม่ใช้กับค่ากำหนด เพราะการเปลี่ยนค่ากำหนดมักจะเป็นแบบขั้น (Step) ทำให้ผลตอบสนองของตัวอนุพันธ์เป็นพัลส์ และทำให้เกิดการกระแทกของอุปกรณ์ในระบบการ สำหรับค่ากำหนดเฉพาะกับตัวควบคุมสัดส่วนและอินทิกรัล ตัวอนุพันธ์คือตัวควบคุมที่ก่อให้เกิดผลตรงข้ามกับตัวอินทิกรัล ดังนั้นจึงใช้ในการปรับปรุงกระบวนการที่มีการลาหลังทางเวลา (Time Lag) มากๆ ทำให้ผลตอบสนองรวดเร็วขึ้นและช่วงเวลาการแกว่งที่สั้นลง ข้อเสียของตัวอนุพันธ์คือ มีความไว ต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมากเพราะมีผลตอบสนองโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้ ดังนั้น แม่สัญญาณรบกวนจะมีขนาดเล็กแต่ก็อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสัญญาณออกของตัวควบคุม จึงเป็นไปได้ที่จะใช้ ตัวอนุพันธ์ในการควบคุมผลของสัญญาณรบกวน ยิ่งไปกว่านั้นระบบใดที่มีสัญญาณรบกวนมากจะไม่สามารถใช้ตัว อนุพันธ์ ในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้เพียงตัวควบคุม PI เท่านั้น

2.4 การควบคุมแบบ LQR (Linear Quadratic Regulator)

การควบคุมแบบ LQR เป็นการใช้ Optimal Control [9] เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ โดยการวิเคราะห์ที่ state จากพลวัตของกระบวนการโดยสามารถกำหนดผลตอบสนองความต้องการที่คาดหวัง แทนการลองผิดลองถูกจากค่าความผิดพลาดที่สภาพของตัวระบบควบคุมแทนการวิเคราะห์จากความผิดพลาดระหว่างค่าที่ตั้งไว้ และค่าจากกระบวนการโดยกระบวนการ LQR จะมีการวิเคราะห์สมการในรูปเมทริกซ์ หรือ เรียกว่า สเตท (state) โดยพิจารณาสมการสเตทของระบบเชิงเส้น (State-space representation of linear system) ดังนี้

$$\dot{x} = Ax + \hat{B}u \text{ และ } y = Cx \quad (2.16)$$

เมื่อ

x = เวกเตอร์สเตท (state vector)

A = เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงสเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B = เวกเตอร์อินพุต

u = ตัวแปรอินพุต

y = ตัวแปรที่ถูกวัดค่ามา

C = เมตริกซ์เอาต์พุต

ทั้งนี้ในการใช้ทฤษฎีระบบควบคุมเหมาะสมที่สุด (Optimal control) จำเป็นที่จะต้องนิยามฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) หรือ Cost function ดังนี้

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T x^T Q x + u^T R u dt \quad (2.17)$$

เมื่อ

Q = เมตริกซ์ขนาด $n \times n$ ชนิด positive semi definite

R = เมตริกซ์ขนาด $n \times n$ ชนิด positive definite

จากทฤษฎีระบบควบคุมเหมาะสมที่สุด (Optimal control) [8] ทำการตั้งสมการ Hamiltonian ดังนี้

$$H = \frac{1}{2} x^T Q x + \frac{1}{2} u^T R u + \lambda^T (Ax + Bu) \quad (2.18)$$

ค่าอินพุตของ u ที่เหมาะสมที่สุด (optimal) หรือ u^* สามารถคำนวณได้จากปัจจัยของความเหมาะสม (optimality condition) ดังสมการนี้

$$\text{เมื่อ } \frac{\partial w}{\partial u} = 0 \quad \text{แล้ว } Ru + B^T \lambda = 0 \quad (2.19)$$

$$\text{จะได้ } u^* = -R^{-1} B^T \lambda \quad (2.20)$$

เพื่อทำการคำนวณหา λ ทำการใช้สมการผูกพัน (Adjoint equation) ดังนี้

$$\text{เมื่อ } -\frac{\partial H}{\partial u} = \dot{\lambda} \quad \text{แล้ว } \dot{x} = -Qx - A^T \lambda \quad (2.21)$$

ทำการนิยาม $\lambda = Px$ เมื่อ P เป็นเมตริกซ์ชนิด Positive definite และเมื่อใช้ sweep method

เพื่อหาของเขตของผลลัพธ์ เมื่อ P เป็นรากของสมการผลต่าง Riccati จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (2.22)$$

ค่าอินพุตควบคุมที่เหมาะสมที่สุด (Optimal control input) ดังนี้

$$u^* = -R^{-1}B^T P x \quad (2.23)$$

ทั้งนี้ค่า $R^{-1}B^T P$ สามารถเรียกว่าอัตราขยาย (Gain, K)

$$K = R^{-1}B^T P \quad (2.24)$$

2.5 แบบจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ [2]

โดยในตัวอย่างการทดลองนี้ จะเป็นการนำความรู้เกี่ยวกับการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ มาสร้างตัวควบคุมระบบของถังความดันอากาศได้ความดันตามที่ต้องการ สามารถปรับเปลี่ยนได้และ มีความเสถียรภาพ ซึ่งในที่นี่จะศึกษาทฤษฎี PID และ LQR ในการออกแบบ

สมการทั่วไปของระบบความดันที่มีสองถังคือ

ถังที่หนึ่ง (T-01)

$$\frac{dP_1}{dt} + \frac{1}{\tau_1} P_1 = M_i(t) - \frac{K_1}{\tau_1} P_2 \quad (2.25)$$

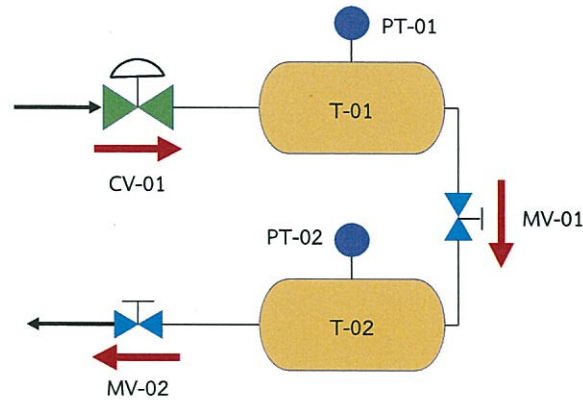
ถังที่สอง (T-02)

$$\frac{dP_2}{dt} + \frac{1}{\tau_2} P_2 = \frac{K_2}{\tau_2} P_1 \quad (2.26)$$

เมื่อ P_1, P_2 คือ ค่าความดันอากาศของถังที่หนึ่งและถังที่สองตามลำดับหน่วยเป็น psi

τ_1, τ_2 คือ ค่าคงที่ของเวลาของถังที่หนึ่งและถังที่สองหน่วยเป็นวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แบบจำลองระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

จากรูปที่ 2.6 แสดงแบบจำลองระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์และทิศทางการไหลของความดันในกระบวนการ ที่มีทิศทางการไหลตามลูกศรสีแดง

2.6 Control Valve [1]



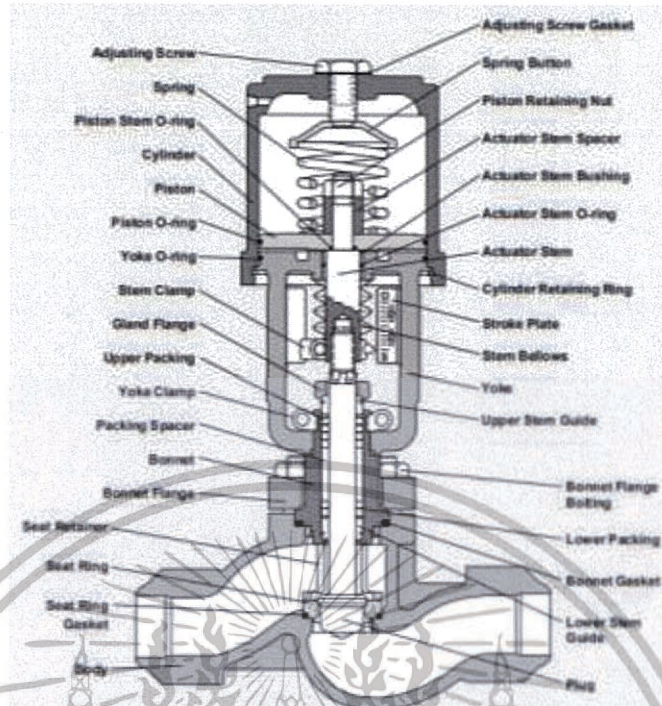
รูปที่ 2.7 Control Valve

จากรูปที่ 2.7 Control Valve ซึ่งจะทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของแก๊ส ไอน้ำ ของเหลว และสารเคมีต่างๆในกระบวนการ Control Valve ทั่วไปประกอบด้วย

1. ชุดบอดี
2. Trim Set (Plug Stem Seat Ring)
3. Actuator
4. Accessories

และในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้วาล์วี่ห้อ Valtex Mark One ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของวาล์วแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

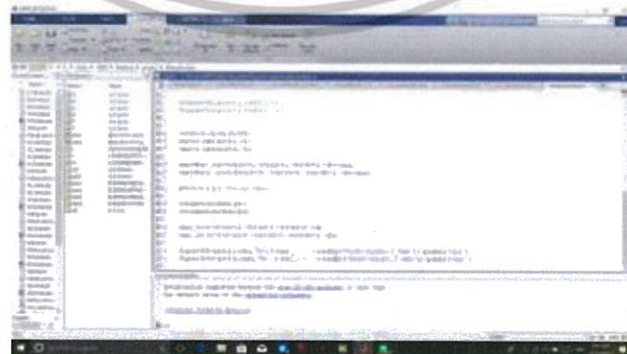


รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบต่างของวาล์ว Valtex Mark One

2.7 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 MATLAB [5]

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้คำนวณเชิงตัวเลข แสดงผลกราฟฟิก พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง ประกอบไปด้วยฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี โดยในที่นี้จะใช้ในการหาสมการที่นำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ โดยรูปที่ 2.9 เป็นตัวอย่างหน้าจอขณะทำการทดลองของโปรแกรม MatLab

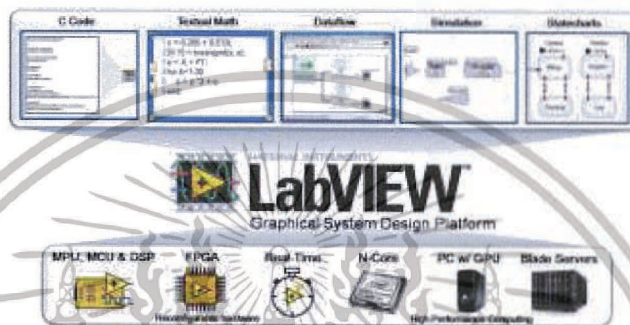


รูปที่ 2.9 หน้าจอแสดงการใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 LabVIEW [6]

LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ประเภท GUI (Graphical User Interface) ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมติดต่อระหว่างส่วนเชื่อมต่อกับส่วนผู้ใช้และอุปกรณ์ภายนอก ปัจจุบันยังได้มีการนำเอา LabVIEW มาใช้ในการวัด ทดสอบ และควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในห้องวิจัย และห้องปฏิบัติการ โดยสังเกตเห็นจากงานวิจัยในแขนงต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีการวัดเพื่อเก็บข้อมูล และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป โดยในที่นี้จะใช้ในการเก็บค่าจากรูปแบบจำลองจริง เพื่อนำค่าไปวิเคราะห์และพัฒนาต่อไป



รูปที่ 2.10 LabVIEW

จากรูปที่ 2.10 แสดงฟังก์ชันการใช้งานต่างๆของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่า

3.1.1 Transmitter

ทำหน้าที่แปลงค่าความดันที่ Pressure Gauge อ่านค่าได้ให้อยู่รูปแบบกระแสไฟฟ้า 4 – 20 mA โดยรูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ Transmitter



รูปที่ 3.1 Transmitter

3.1.2 Terminal

ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่าง DAQ กับ Transmitter โดยรูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ Terminal



รูปที่ 3.2 Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 DAQ (Data acquisition)

รับค่าที่ส่งมาจาก Transmitter โดยผ่านตัวเชื่อมต่อคือ Terminal และส่งค่าเข้าสู่ Labview โดยรูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ DAQ



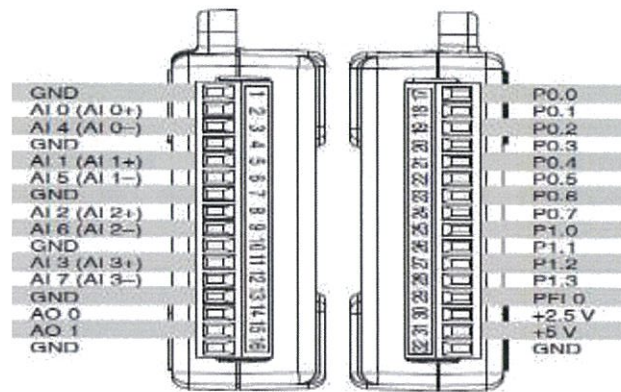
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ DAQ

3.2 ขั้นตอนในการเก็บค่า [4]

3.2.1 การต่อสาย

ต่อสายจาก Transmitter จากถังลม 1 และ 2 เข้า Chanel ของ DAQ โดยมีการจ่ายไฟให้อุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์ผ่าน Terminal หลังจากนั้นเลือก Chanel ของสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการ โดยจากการทดลองมีอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์สองตัว จึงเลือกใช้เป็น AI 0 และ AI 1 โดยแต่ละ Chanel ใช้สัญญาณขั้วบวกจากทรานสมิตเตอร์ เชื่อมเข้ากับ AI 0 และ AI 1 ตามลำดับ ส่วนสัญญาณขั้วลบจากทรานสมิตเตอร์ทั้งสองตัว เชื่อมต่อเข้ากับ GND ในส่วนของเอาต์พุตที่จะนำไปใช้ควบคุมวาล์ว ได้มีการใช้ตัวแปลงสัญญาณจาก 0 ถึง 5 โวลต์ ไปเป็นสัญญาณอนาล็อก 4 ถึง 20 mA เพื่อใช้ในการควบคุมวาล์วในส่วนของเอาต์พุต จะใช้เป็น Chanel AO 0 ตามรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

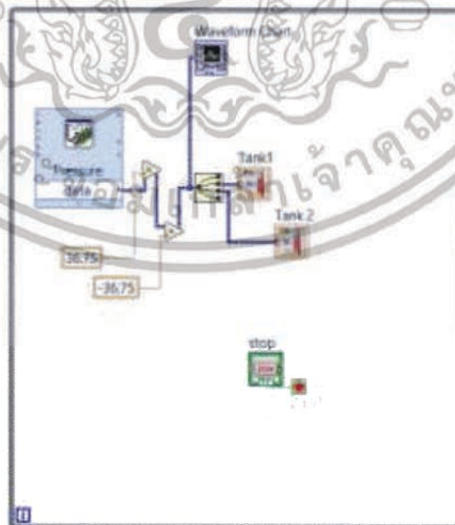


รูปที่ 3.4 ระบบสัญญาณของ DAQ

3.2.2 การเก็บข้อมูล

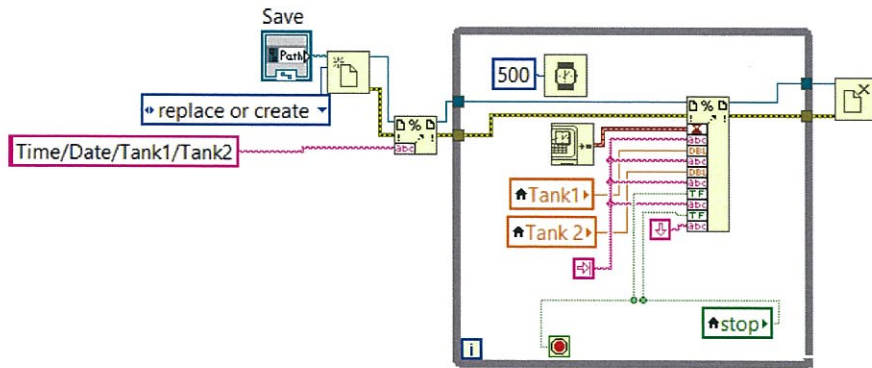
ในการเก็บข้อมูล จะใช้โปรแกรม Labview ในการเก็บข้อมูลค่าความดันของถังความดันอากาศที่ได้จาก Pressure Transmitter โดยผ่าน DAQ ที่เป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแล้วจึงเข้าสู่โปรแกรม Labview ที่มีการเขียน Diagram โดยรูปที่ 3.5 แสดงถึงแบบจำลองในส่วนของการแสดงค่าบนหน้าจอ ที่มีการนำมาหาสมการเชิงเส้นระหว่างค่าความดันและค่าทางไฟฟ้าที่ได้มาจากอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์และรูปที่ 3.6 แสดงถึงการเก็บค่าโดยค่าที่เก็บได้นั้นมีอนุพัทธ์เป็นกระแส (A) และเอาต์พุตที่ได้เป็นความดัน โดยจะเก็บค่าทุกๆ 500 ms และในการทดลองนี้ทำการแปลงค่าความดันให้อยู่หน่วย psi เพื่อให้เหมาะสมต่อการทดลองโดยใช้สมการ

$$36.75X - 36.75Y = 0 \quad (3.1)$$

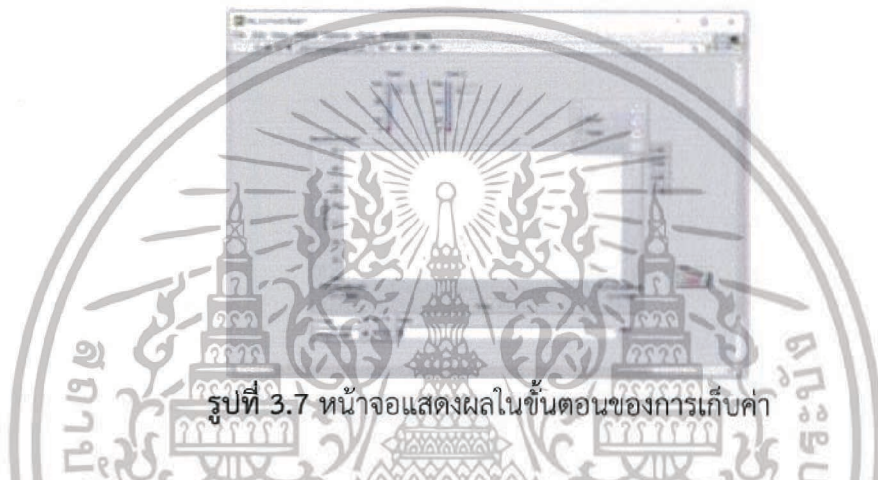


รูปที่ 3.5 แบบจำลองในส่วนของการแสดงค่าบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แบบจำลองในส่วนของการเก็บข้อมูลจากกระบวนการ



รูปที่ 3.7 หน้าจอแสดงผลในขั้นตอนของการเก็บค่า

3.3 ลักษณะของระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

ระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ เป็นระบบแบบเข้าออกทางเดียว ประกอบด้วยการเชื่อมต่อถังเก็บความดันอากาศสองถังเข้าด้วยกัน เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมแต่ละถังจะมีขนาดความยาว 35 นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ทั้งสองถังมีการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ความดัน (PT-01 และ PT-02) เพื่อส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DAQ) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูลของตัวแปรความดันทั้งถังไปยังอินพุตของตัวควบคุม ทั้งนี้ในถังเก็บความดันทั้งสองถังมีการติดตั้งมาตรวัดความดันทั้งสองถัง (PG-01 และ PG-02) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความดันที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ วาล์วควบคุม (CV-01) เชื่อมต่อเข้ากับถังความดันอากาศที่หนึ่ง (T-01) และทำหน้าที่ควบคุมความดันที่ไหลเข้าระบบตัวเอาต์พุตของตัวควบคุมระหว่างถังเก็บความดันอากาศสองถังจะมีวาล์วปฏิบัติการมือ (MV-01) เชื่อมต่ออยู่ระหว่างสองถังทำหน้าที่ควบคุมความดันอากาศที่ไหลออกจากถังที่หนึ่ง (T-01) เข้าถังที่สอง (T-02) และถังที่สองมีวาล์วปฏิบัติการด้วยมือ (MV-02) เชื่อมต่ออยู่ที่ด้านการไหลออกสู่บรรยากาศของถังที่สอง ตามรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9

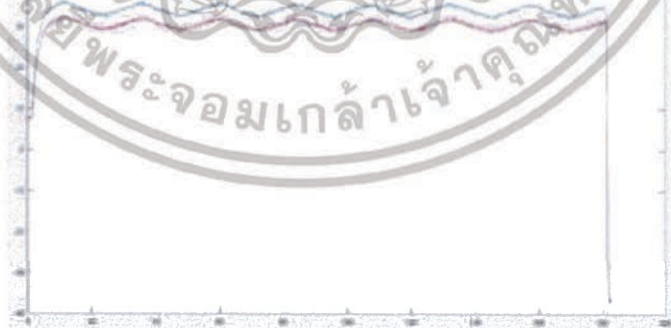
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

3.4 การบันทึกค่าจากระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ [7]

ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ที่ถูกควบคุมความดันที่ไหลเข้าคังที่มาจากแหล่งจ่าย 3 บาร์ ด้วยวาล์วควบคุม (CV-01) ที่ควบคุมการเปิดปิดแบบสัญญาณอนาล็อก 4 – 20 mA เมื่อเชื่อม Pressure Transmitter (PG-01 และ PG-02) เข้ากับอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DAQ) เพื่อบันทึกค่าความดันที่ได้ จากแหล่งจ่ายที่แตกต่างกันคือ 10 mA, 12 mA, 14 mA, 16 mA, 18 mA ตามลำดับ ค่าที่บันทึกได้ในรูปแบบกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (T-01) และถังที่สอง (T-02) กับเวลาตามรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ค่าที่บันทึกได้ในรูปกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (สีฟ้า) และถังที่สอง (สีแดง) กับเวลา โดยที่แกน y คือค่าความดันอากาศและแกน x เวลา

จากรูปที่ 3.9 แสดงถึงค่าที่บันทึกได้ในรูปแบบกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (สีฟ้า) และถังที่สอง (สีแดง) กับเวลา โดยที่แกน y คือค่าความดันอากาศมีหน่วยเป็น psi และแกน x เวลา มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งขณะที่ทำการบันทึกค่า มีการรบกวนระบบจากปัจจัยต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ ค่าแหล่งจ่ายไม่คงที่ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ค่าที่บันทึกได้อยู่ในลักษณะฟันปลา (Sawtooth) ในการทำการตัด Sawtooth ออกจากรูปที่ 3.9 สามารถเขียนเป็นสมการเชิงเส้นแบบเป็นช่วง (Piecewise Linear Function) โดยกำหนดช่วงให้เท่ากันได้ดังนี้

$$f(t) = \begin{cases} a_1 + b_1 t, & T < t < T_1 \\ a_2 + b_2 t, & T_1 < t < T_2 \\ \vdots & \vdots \\ a_{n+1} + b_{n+1} t, & T_{n+1} < t < T_{end} \end{cases} \quad (3.2)$$

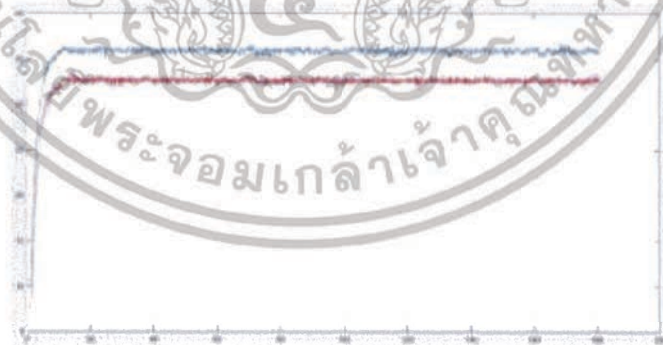
เมื่อ $t_{end} = 19$ s

และเมื่อต้องการให้ฟังก์ชันมีคุณสมบัติ C^0 Continuity จึงจำเป็นต้องใส่ข้อจำกัด (Constraint) ของระบบดังนี้

$$f(T_j) = f(T_{j+1}) \quad (3.3)$$

เมื่อ $j=1, 2, \dots, 12$

ทำการแทนค่า $Y_{data}(t_i) = f(t_i)$ เมื่อ $i = 1, \dots$ ในสมการ (3.1) และใช้ Constrained Linear Least Squares จะได้ a_1, a_2, \dots, a_{13} และ b_1, b_2, \dots, b_{13} ซึ่งเมื่อทำการคำนวณใน Matlab จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (สีฟ้า) และถังที่สอง (สีแดง) กับเวลา หลังจากทำ Linear Least Squares โดยที่แกน y คือค่าความดันอากาศหน่วยเป็น psi และแกน x เวลาหน่วยเป็นวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำ Mathematical Modeling และ System Identification

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในระบบควบคุมพื้นฐานของระบบใดๆ สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ของตัวแปรใดๆ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเอส (S-Domain) ด้วยวิธีการแปลงลาปลาซ (Laplace's Transform) ซึ่งในเบื้องต้นอาจจะสร้างขึ้นมาจากสมการความสัมพันธ์ที่มีหลายตัวแปรแล้วทำให้เหลือเพียงแค่สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตกับเอาต์พุตของระบบเท่านั้นสุดท้ายจึงจัดให้อยู่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

ถังที่หนึ่ง (T-01)

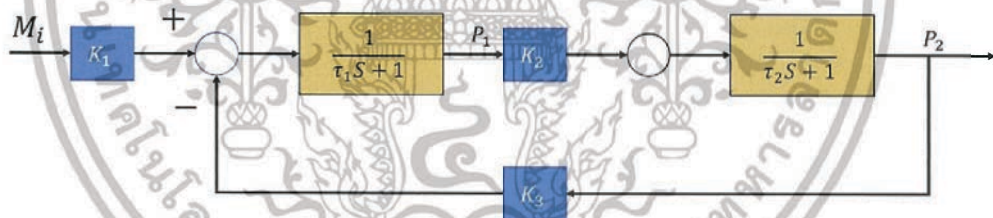
$$\frac{dP_1}{dt} + \frac{1}{\tau_1} P_1 = M_i(t) - \frac{K_1}{\tau_1} P_2 \quad (3.4)$$

ถังที่สอง (T-02)

$$\frac{dP_2}{dt} + \frac{1}{\tau_2} P_2 = \frac{K_2}{\tau_2} P_1 \quad (3.5)$$

เมื่อ P_1, P_2 คือ ค่าความดันอากาศของถังที่หนึ่งและถังที่สองหน่วยเป็น psi

τ_1, τ_2 คือ Time Constant ของถังที่หนึ่งและถังที่สองหน่วยเป็นวินาที



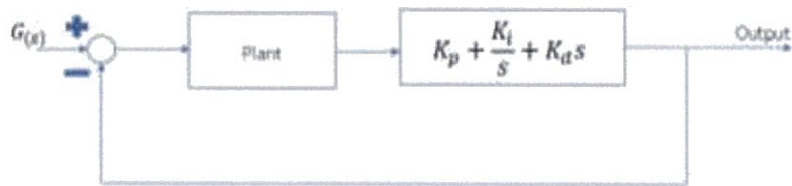
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองคณิตศาสตร์ระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

เนื่องจากจะนำเสนอกการควบคุมความดัน (P_2) ในถังที่สอง เราจะหาความสัมพันธ์เอาต์พุตต่ออินพุตของระบบที่กำหนดให้เป็นตัวแปรตำแหน่งการเปิดปิดของวาล์วควบคุม (M_i) จะได้ดังนี้

สมการ Open Loop Transfer function

$$\frac{P_2}{M_i} = \frac{K_2 \tau_1}{S^2 \tau_1 \tau_2 + (\tau_1 + \tau_2) S + 1 - K_1 K_2} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 Block Diagram ของ Close Loop

พิจารณารูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่า Closed Loop Transfer Function คือ

$$G_{cl} \text{ Plant} = \frac{\text{Plant}(s) \cdot \text{Controller}(s)}{(1 + \text{Plant}(s) \cdot \text{Controller}(s))} \quad (3.7)$$

$$G_{cl} \text{ Plant} = \left(\frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_1 \tau_1}{K_1 K_d s^2 \tau_1 + s^3 \tau_1 \tau_2 + K_1 K_p s \tau_1 + K_1 K_2 s + K_1 K_i \tau_1 + s^2 \tau_1 + s^2 \tau_2 + s} \right) \quad (3.8)$$

ดังนั้นสมการ Characteristic Polynomial ของ Closed Loop Transfer function คือ

$$G_{CL} \text{ Plant} = S^3 + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{K_1 K_d}{\tau_2} \right) S^2 + \left(\frac{1}{\tau_1 \tau_2} + \frac{K_1 K_p}{\tau_2} + \frac{K_1 K_2}{\tau_1 \tau_2} \right) S + \frac{K_1 K_i}{\tau_2} \quad (3.9)$$

สมการ Characteristic Polynomial ของ Desired Closed Loop Response

$$G_{CL} \text{ Desired} = S^3 + (3\delta\omega_n)S^2 + (2\omega_n^2\delta^2)s + \omega_n^3\delta \quad (3.10)$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างสมการ Close Loop Transfer function กับสมการ Desired Closed Loop Response เพื่อหาค่า K_p , K_i , K_d

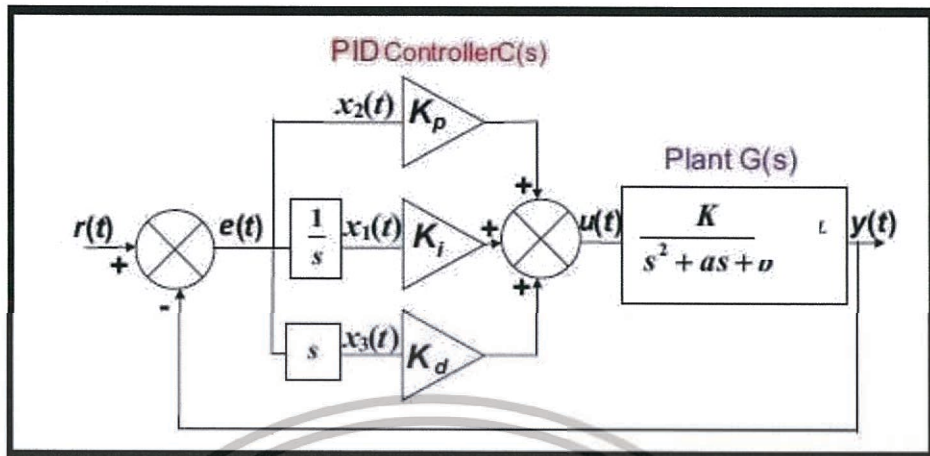
$$K_p = 2.252330610 \quad (3.11)$$

$$K_i = 12.19237806 \quad (3.12)$$

$$K_d = 0.7297487320 \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การสังเคราะห์ตัวควบคุมด้วยวิธีการ LQR(Linear Quadratic Regulator)



รูปที่ 3.13 แสดงระบบการควบคุมแบบปิด

พิจารณารูปที่ 3.13 สามารถเขียน Transfer Function ได้เป็น

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-sL}}{s^2 + as + b} = \frac{-e(s)}{U(s)} \quad (3.14)$$

จาก Transfer Function ตามสมการ (3.5) และ Transfer Function ของระบบ

$$H = \frac{K_2\tau_1}{s^2\tau_1\tau_2 + (\tau_1 + \tau_2)s + (1 - K_1K_2)} \quad (3.15)$$

ทำการเขียนสมการ (3.15) ใหม่ และเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างสมการ (3.15) กับสมการ (3.14) จะได้

$$K = 4.8857 \quad (3.16)$$

$$a = 8.5161 \quad (3.17)$$

$$b = -3.8450e-04 \quad (3.18)$$

ในขณะเดียวกัน Transfer Function ในสมการ (3.14) สามารถเขียนสมการในเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$e'' + ae' + be = -Ku(t) \quad (3.19)$$

ทำการนิยามตัวแปรสแตท (State Variable) ได้ดังนี้

$$x'_1(t) = \int e(t) dt \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_2(t) = e(t) \quad (3.21)$$

$$x_3(t) = \frac{de}{dt} \quad (3.22)$$

ดังนั้นสมการ (3.19) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ State Space โดย

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -b & -a \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -K \end{bmatrix}$$

จากการออกแบบ Overshoot, Rise Time, Setting Time ที่ต้องการ เมพริกซ์ต่างๆของทฤษฎี LQR สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix}, R = [r], P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & p_{31} \\ p_{12} & p_{22} & p_{32} \\ p_{13} & p_{23} & p_{33} \end{bmatrix}$$

$$p_{11} = \frac{m\zeta_d\omega_d^5(1+2m\zeta_d^2)}{\eta} \quad p_{12} = \frac{(2+m)m\zeta_d^2\omega_d^4}{\eta}$$

$$p_{13} = \frac{m\zeta_d\omega_d^3}{\eta} \quad p_{23} = \frac{\omega_d^2+2m\zeta_d^2-b}{\eta}$$

$$p_{22} = \frac{2\omega_d^3(\zeta_d+2m\zeta_d^3)-ab}{\eta} \quad p_{33} = \frac{(2+m)\omega_d\zeta_d-a}{\eta}$$

โดย ω_d = ความถี่ธรรมชาติของ Desired Closed Loop Response

$$\eta = r^{-1} \cdot K^2$$

m = ค่า Rise Time และค่า Overshoot ที่ต้องการ ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 3 ถึง 10

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณเวกเตอร์อัตราขยาย (Gain Vector) จาก

$$K = r^{-1}BP \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- K = ค่า gain ของ LQR
 B = เมตริกซ์ของ K ที่ได้จากplant
 P = เมตริกซ์ที่สามารถกำหนด Overshoot, Setting Time, Rise Time
 r = เมตริกซ์ที่สามารถกำหนดได้ ซึ่งในการทดลองเลือกค่า $r = 1$ เพื่อให้เหมาะสมกับการทดลอง

ทั้งนี้การเลือก r เป็น Scalar ซึ่งมีค่าน้อยมากนี้ ทำให้ลดตัวแปรในการคำนวณน้อยลง และเมื่อทำการคำนวณในโปรแกรม Matlab จะได้

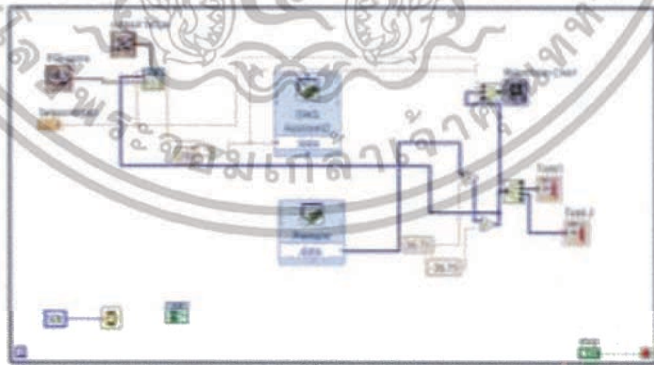
$$K_p = 8.0368 \quad (3.24)$$

$$K_i = 7.9597 \quad (3.25)$$

$$K_d = 0.6692 \quad (3.26)$$

3.7 การควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์

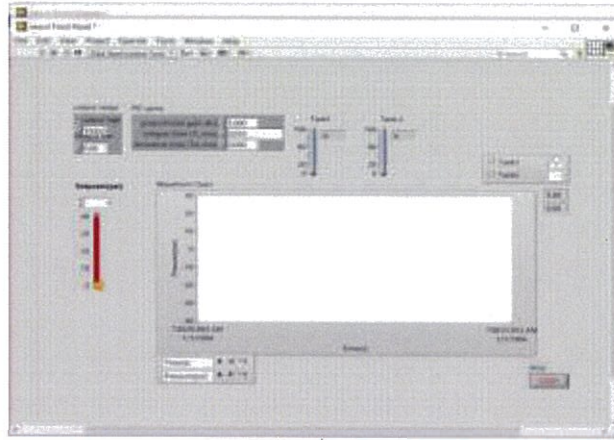
การทดลองควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์ ทำได้โดยจำลองระบบปฏิบัติการในโปรแกรม Labview ตามรูป 3.14 โดยเชื่อมต่อกับระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์ผ่านอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DAQ) และแทนค่า K_p , K_i , K_d ที่ได้มาลงในแบบจำลองได้กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน (psi) ภายในถังที่หนึ่ง (T-01) และถังที่สอง (T-02) กับเวลาตามรูป 3.15



รูปที่ 3.14 แบบจำลองโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุมระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์

จากรูปที่ 3.14 การทดลองนี้มีช่วงเอาต์พุตของ PID 0 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งไม่สามารถแสดงค่าบนหน้าจอแสดงผลได้อย่างละเอียด จึงทำการปรับช่วงเอาต์พุตของ PID ให้เหมาะสมคือ 0 ถึง 1000 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงผลโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุมระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์



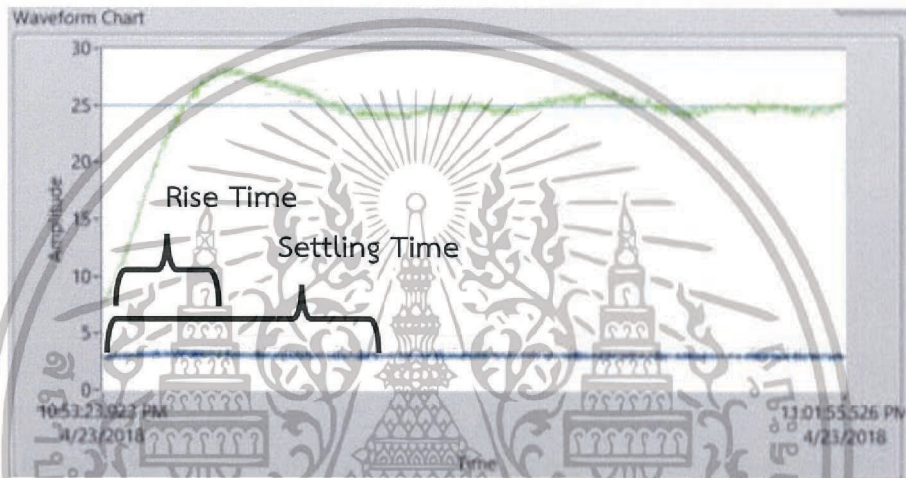
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

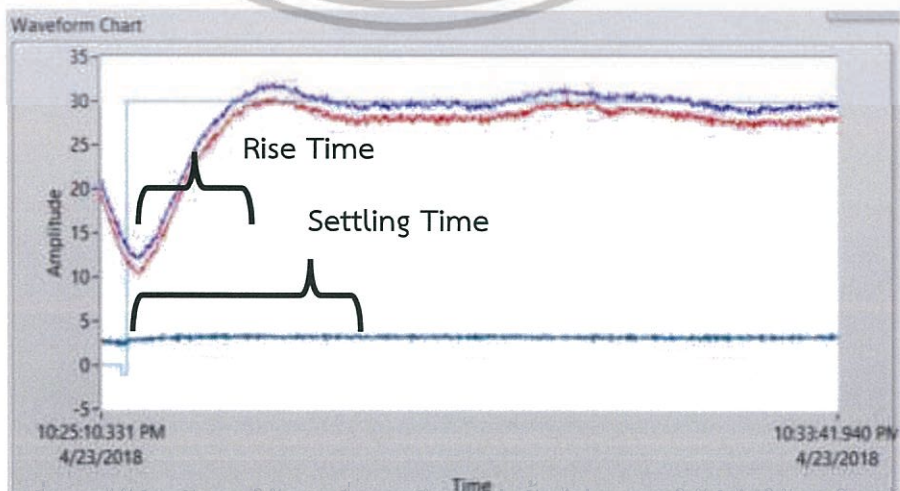
4.1 การทดสอบการทำงานของกระบวนการ

การทดสอบในส่วนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อดูผลตอบสนองของความดันอากาศที่เกิดขึ้นกับระบบปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ความดันที่ไหลเข้าระบบเริ่มต้นเป็น 0 psi แล้วเปลี่ยนเป็น 25 psi ตลอดการทดสอบจะมีผลตอบสนองตามรูปที่ 4.1



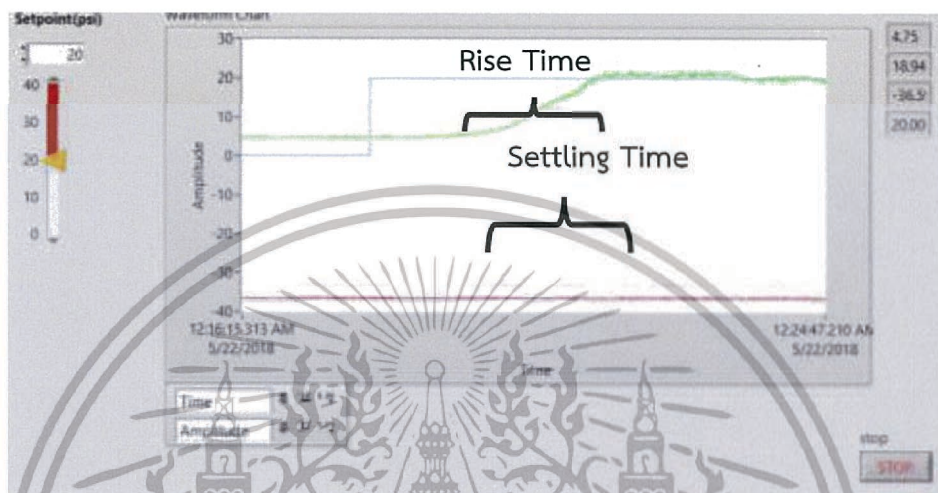
รูปที่ 4.1 กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันอากาศ (psi) ภายในถังที่สอง (T-02) กับเวลา ขณะควบคุม เส้นกราฟสีน้ำเงินหมายถึงสัญญาณการเปิดปิดของวาล์วควบคุม

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันอากาศ (สีเขียว) ภายในถังที่สอง (T-02) กับเวลา (สีฟ้า) ขณะที่ควบคุม ค่าความดันอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่ามากกว่า 25 psi แล้วจะลดลงเข้าสู่ 25 psi ตลอดการทดลอง และจากการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบค่า Rise Time เท่ากับ 60 วินาที และค่า Settling Time เท่ากับ 120 วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของความดันอากาศของระบบปฏิบัติการเมื่อเริ่มการทดลอง จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่มีปรับระดับความดันลงมาที่ 0 psi และได้เปลี่ยนระดับระดับความดันเป็น 30 psi จะสังเกตเห็นว่ากราฟค่าความดันบรรยากาศของถังที่หนึ่งและถังที่สอง (สีแดงและสีน้ำเงินตามลำดับ) มีการเปลี่ยนแปลงไปตาม Set Point ที่กำหนด (สีฟ้า) และเข้าสู่ภาวะเสถียรภาพในช่วงเวลาสั้นๆ



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของความดันอากาศของระบบปฏิบัติการ เมื่อควบคุมด้วย LQR จากรูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองของความดันอากาศของระบบปฏิบัติการ เมื่อทำการ

ทดลองควบคุมด้วย LQR จะสังเกตเห็นว่ากราฟค่าความดันบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ค่า Set Point ที่เปลี่ยน ซึ่งมีความรวดเร็ว เข้าสู่สภาวะคงที่ได้อย่างถูกต้องตามกำหนดและมีความเสถียรภาพมากกว่าการทดลองด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols โดยการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบค่า Rise Time เท่ากับ 60 วินาที และค่า Settling Time เท่ากับ 120 วินาที

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ และการออกแบบตัวควบคุมของระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ ซึ่งระบบปฏิบัติการเป็นระบบแบบพลวัต โดยงานวิจัยนี้ได้เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแนวคิดวิธีการ และทฤษฎีต่างๆในการสร้างสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นวิธีหลักการทางสถิติหรือวิธีการปรับเส้นโค้ง(Curve Fitting) ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่สามารถอธิบายลักษณะพลวัต และการวิเคราะห์กลไกต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบได้ดีเท่ากับวิธีการสร้างสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการสมดุลมวลหรือพลังงานที่จะอธิบายด้วยสมการอนุพันธ์หลังจากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์

5.1.1 สรุปผลในการดำเนินการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างมาจากหลักการสมดุลมวล ที่ประกอบด้วยระบบย่อยสองระบบเข้าด้วยกันแล้วนำมาต่อรวมกันเป็นระบบใหญ่ โดยแต่ละระบบย่อย มีการกำหนดไว้ดังนี้ ถึงเก็บความดันอากาศหมายเลข T-01 จะเป็นการกำหนดสมการสมดุลอัตรามวลที่สะสมในระบบ โดยอธิบายด้วยสมการแก๊ซในอุดมคติเป็นระบบย่อยที่หนึ่ง ซึ่งกำหนดให้สมการการไหลของอากาศที่ผ่านวาล์วควบคุมหมายเลข CV-01 เป็นสมการอินพุทของระบบย่อยที่หนึ่งและระบบใหญ่ กำหนดให้สมการการไหลของอากาศที่ผ่านวาล์วปฏิบัติการด้วยมือ MV-01 เป็นสมการเอาต์พุทของระบบย่อยที่หนึ่ง และถึงเก็บความดันอากาศหมายเลข T-02 จะเป็นการกำหนดสมการสมดุลอัตราโมเดลที่คงเหลือในระบบ โดยอธิบายด้วยสมการแก๊ซในอุดมคติเช่นกันเป็นระบบย่อยที่สอง กำหนดให้สมการการไหลของอากาศที่ผ่านวาล์วปฏิบัติการด้วยมือหมายเลข MV-01 เป็นสมการอินพุทของระบบย่อยที่สองและสมการการไหลผ่านวาล์วปฏิบัติการด้วยมือหมายเลข MV-02 เป็นสมการเอาต์พุทของระบบย่อยที่สองและระบบใหญ่ ซึ่งสุดท้ายจะได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรเอาต์พุท คือ ความดันอากาศ(P2) ในถึงเก็บหมายเลข T-02 ต่อตัวแปรอินพุทคือตำแหน่งการเปิดปิดวาล์วควบคุมหมายเลข CV-01 (Mi) และจากการดำเนินการดังกล่าวจึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกับผลการ

จำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์ใน Simulink/Matlab แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่มีผลตอบสนองใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถอนุมานได้ว่าอาจเกิดจากตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่น ความดันอากาศที่นำมาจ่ายให้ระบบมีความไม่เสถียรความแม่นยำของตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดของระบบอื่นๆ

5.1.2 สรุปผลในการดำเนินการสังเคราะห์ตัวควบคุม

จากผลการตรวจสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่า ผลตอบสนองของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการ เพื่อการสังเคราะห์ตัวควบคุมที่มีความเหมาะสมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น และได้มีการดำเนินการปรับแต่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการมากยิ่งขึ้น การสังเคราะห์ตัวควบคุมด้วยวิธีคลาสสิกคอนโทรลเพื่อหาค่าเกนในระบบก็นำมาควบคุมได้อย่างเหมาะสมแต่กราฟที่ได้ออกมานั้นมีสิ่งรบกวนจากภายนอกด้วยจึงเป็นสาเหตุให้ควบคุมระบบได้ไม่เสถียร 100 เปอร์เซ็นต์

สรุปได้ว่าการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มาจากหลักการสมมูลมวลที่สามารถอธิบายถึงลักษณะพลวัตและตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับกระบวนการ และการสังเคราะห์ตัวควบคุมที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ เห็นได้ว่าจะสามารถนำมาเป็นหลักการพื้นฐานในการสร้างตัวควบคุม และง่ายต่อการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานกับระบบปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มาจากระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ เป็นระบบแบบเข้าออกทางเดียว (SISO) ดังนั้นเพื่อจะเพิ่มความสามารถในการเข้าใจในระบบแบบพลวัตให้มากยิ่งขึ้น และเข้าใจในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีความหลากหลายและยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้งาน การศึกษายังมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้นในอนาคตที่ต้องการเข้าใจในหลายกรณี จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขในการศึกษาและวิจัยในการใช้ระบบเข้าออกหลายทาง (MIMO)

บรรณานุกรม

- [1] K. Anish Mathew 2012 “Internal Model Control of Pressure Process Using ARM Microcontroller.” International Conference on Computing Electronics and Electrical Technologies. 2012(1) : 351-353
- [2] C. E. Long J. D. Miles, C. E. Holland and E. P. Gatzke. 2003. “A Flexible Multivariable Experimental Air Tank System For Process Control Education.” American Control conference, 2003(1) : 688-693
- [3] Nordin Saad and Mohd Syahrul Ridhwan Zailani. 2007. “Industrial PC Control Implementation on PID controllers : Application to Pressure Control System. “ International Conference on Intelligent and Advanced System. 2007(1) : 1007-1012.
- [4] <http://mechanic-top.blogspot.com/2010/09/daq-gpib-and-serialcommunication.html>, “DAQ, GPIB and Serial Communication”
- [5] <http://www.w3ii.com/th/matlab/default.html>, “MatLAB”
- [6] อติศักดิ์ รมพัฒตล. 2555 “LabVIEW สำหรับงานควบคุมฮาร์ดแวร์.” หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [7] MathWorks. (2015). Matlab&Simulink, URL: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simulink/sl_gs.pdf
- [8] S. lenhart and J.T. Workman Optimal Control Applied of Biological Model , CRC Press , 2007 , Pf 104-107
- [9] An optimal PID controller via LQR for standard second order plus time delaysystems SaurabhSrivastava, AnuraagMisra, S.K.Thakur, V.S.Pandit n VariableEnergyCyclotronCenter, 1/AF, BidhanNagar, Kolkata 700064, India

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ขั้นตอนการเขียน Matlab

การหาพารามิเตอร์

1. นำเข้าข้อมูลที่เก็บค่าได้จาก plant (เวลา, ความดันอากาศ P1, P2)
2. กำหนดช่วงที่ต้องการตัดค่า error
3. หาค่าเฉลี่ยของ error แบบจุดต่อจุด จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุด
4. หาทั้ง 3 ตัวแปร (เวลา, ความดันอากาศ P1, P2)
5. ใช้ command lsqin (linear least squares) เพื่อให้กราฟตัดค่า error
6. นำไปหาสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธีการของการแสดงตัวระบบ (System Identification)
7. ได้กราฟที่มีความเสถียรภาพ และเข้าสู่สภาวะคงที่
8. Save ค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลชุดนี้



```

1 - load('data.mat');
2 - close all;
3 - h=importdata('data.mat','t');
4 -
5 -
6 -
7 -
8 -
9 - figure(1);plot(h.p1,h.p2);
10 -
11 -
12 -
13 -
14 -
15 -
16 -
17 - Taw(1)=T(140:2036);
18 - Taw(2)=T(140:2036);
19 - Taw(3)=T(140:2036);
20 - figure(1);plot(Taw,yaw);
21 -
22 -
23 -
24 -
25 -
26 -
27 - Taw(1)=T(140:2036);
28 - Taw(2)=T(140:2036);
29 - Taw(3)=T(140:2036);
30 -
31 -
32 -
33 -
34 -
35 -
36 -
37 -
38 -
39 -
40 -
41 -
42 -
43 -
44 -
45 -
46 -
47 -
48 -
49 -
50 -
51 -
52 -
53 -
54 -
55 -
56 -
57 -
58 -
59 -
60 -
61 -
62 -
63 -
64 -
65 -
66 -
67 -
68 -
69 -
70 -
71 -
72 -
73 -
74 -
75 -
76 -
77 -
78 -
79 -
80 -
81 -
82 -
83 -
84 -
85 -
86 -
87 -
88 -
89 -
90 -
91 -
92 -
93 -
94 -
95 -
96 -
97 -
98 -
99 -
100 -
101 -
102 -
103 -
104 -
105 -
106 -
107 -
108 -
109 -
110 -
111 -
112 -
113 -
114 -
115 -
116 -
117 -
118 -
119 -
120 -
121 -
122 -
123 -
124 -
125 -
126 -
127 -
128 -
129 -
130 -
131 -
132 -
133 -
134 -
135 -
136 -
137 -
138 -
139 -
140 -
141 -
142 -
143 -
144 -
145 -
146 -
147 -
148 -
149 -
150 -
151 -
152 -
153 -
154 -
155 -
156 -
157 -
158 -
159 -
160 -
161 -
162 -
163 -
164 -
165 -
166 -
167 -
168 -
169 -
170 -
171 -
172 -
173 -
174 -
175 -
176 -
177 -
178 -
179 -
180 -
181 -
182 -
183 -
184 -
185 -
186 -
187 -
188 -
189 -
190 -
191 -
192 -
193 -
194 -
195 -
196 -
197 -
198 -
199 -
200 -
201 -
202 -
203 -
204 -
205 -
206 -
207 -
208 -
209 -
210 -
211 -
212 -
213 -
214 -
215 -
216 -
217 -
218 -
219 -
220 -
221 -
222 -
223 -
224 -
225 -
226 -
227 -
228 -
229 -
230 -
231 -
232 -
233 -
234 -
235 -
236 -
237 -
238 -
239 -
240 -
241 -
242 -
243 -
244 -
245 -
246 -
247 -
248 -
249 -
250 -
251 -
252 -
253 -
254 -
255 -
256 -
257 -
258 -
259 -
260 -
261 -
262 -
263 -
264 -
265 -
266 -
267 -
268 -
269 -
270 -
271 -
272 -
273 -
274 -
275 -
276 -
277 -
278 -
279 -
280 -
281 -
282 -
283 -
284 -
285 -
286 -
287 -
288 -
289 -
290 -
291 -
292 -
293 -
294 -
295 -
296 -
297 -
298 -
299 -
300 -
301 -
302 -
303 -
304 -
305 -
306 -
307 -
308 -
309 -
310 -
311 -
312 -
313 -
314 -
315 -
316 -
317 -
318 -
319 -
320 -
321 -
322 -
323 -
324 -
325 -
326 -
327 -
328 -
329 -
330 -
331 -
332 -
333 -
334 -
335 -
336 -
337 -
338 -
339 -
340 -
341 -
342 -
343 -
344 -
345 -
346 -
347 -
348 -
349 -
350 -
351 -
352 -
353 -
354 -
355 -
356 -
357 -
358 -
359 -
360 -
361 -
362 -
363 -
364 -
365 -
366 -
367 -
368 -
369 -
370 -
371 -
372 -
373 -
374 -
375 -
376 -
377 -
378 -
379 -
380 -
381 -
382 -
383 -
384 -
385 -
386 -
387 -
388 -
389 -
390 -
391 -
392 -
393 -
394 -
395 -
396 -
397 -
398 -
399 -
400 -
401 -
402 -
403 -
404 -
405 -
406 -
407 -
408 -
409 -
410 -
411 -
412 -
413 -
414 -
415 -
416 -
417 -
418 -
419 -
420 -
421 -
422 -
423 -
424 -
425 -
426 -
427 -
428 -
429 -
430 -
431 -
432 -
433 -
434 -
435 -
436 -
437 -
438 -
439 -
440 -
441 -
442 -
443 -
444 -
445 -
446 -
447 -
448 -
449 -
450 -
451 -
452 -
453 -
454 -
455 -
456 -
457 -
458 -
459 -
460 -
461 -
462 -
463 -
464 -
465 -
466 -
467 -
468 -
469 -
470 -
471 -
472 -
473 -
474 -
475 -
476 -
477 -
478 -
479 -
480 -
481 -
482 -
483 -
484 -
485 -
486 -
487 -
488 -
489 -
490 -
491 -
492 -
493 -
494 -
495 -
496 -
497 -
498 -
499 -
500 -
501 -
502 -
503 -
504 -
505 -
506 -
507 -
508 -
509 -
510 -
511 -
512 -
513 -
514 -
515 -
516 -
517 -
518 -
519 -
520 -
521 -
522 -
523 -
524 -
525 -
526 -
527 -
528 -
529 -
530 -
531 -
532 -
533 -
534 -
535 -
536 -
537 -
538 -
539 -
540 -
541 -
542 -
543 -
544 -
545 -
546 -
547 -
548 -
549 -
550 -
551 -
552 -
553 -
554 -
555 -
556 -
557 -
558 -
559 -
560 -
561 -
562 -
563 -
564 -
565 -
566 -
567 -
568 -
569 -
570 -
571 -
572 -
573 -
574 -
575 -
576 -
577 -
578 -
579 -
580 -
581 -
582 -
583 -
584 -
585 -
586 -
587 -
588 -
589 -
590 -
591 -
592 -
593 -
594 -
595 -
596 -
597 -
598 -
599 -
600 -
601 -
602 -
603 -
604 -
605 -
606 -
607 -
608 -
609 -
610 -
611 -
612 -
613 -
614 -
615 -
616 -
617 -
618 -
619 -
620 -
621 -
622 -
623 -
624 -
625 -
626 -
627 -
628 -
629 -
630 -
631 -
632 -
633 -
634 -
635 -
636 -
637 -
638 -
639 -
640 -
641 -
642 -
643 -
644 -
645 -
646 -
647 -
648 -
649 -
650 -
651 -
652 -
653 -
654 -
655 -
656 -
657 -
658 -
659 -
660 -
661 -
662 -
663 -
664 -
665 -
666 -
667 -
668 -
669 -
670 -
671 -
672 -
673 -
674 -
675 -
676 -
677 -
678 -
679 -
680 -
681 -
682 -
683 -
684 -
685 -
686 -
687 -
688 -
689 -
690 -
691 -
692 -
693 -
694 -
695 -
696 -
697 -
698 -
699 -
700 -
701 -
702 -
703 -
704 -
705 -
706 -
707 -
708 -
709 -
710 -
711 -
712 -
713 -
714 -
715 -
716 -
717 -
718 -
719 -
720 -
721 -
722 -
723 -
724 -
725 -
726 -
727 -
728 -
729 -
730 -
731 -
732 -
733 -
734 -
735 -
736 -
737 -
738 -
739 -
740 -
741 -
742 -
743 -
744 -
745 -
746 -
747 -
748 -
749 -
750 -
751 -
752 -
753 -
754 -
755 -
756 -
757 -
758 -
759 -
760 -
761 -
762 -
763 -
764 -
765 -
766 -
767 -
768 -
769 -
770 -
771 -
772 -
773 -
774 -
775 -
776 -
777 -
778 -
779 -
780 -
781 -
782 -
783 -
784 -
785 -
786 -
787 -
788 -
789 -
790 -
791 -
792 -
793 -
794 -
795 -
796 -
797 -
798 -
799 -
800 -
801 -
802 -
803 -
804 -
805 -
806 -
807 -
808 -
809 -
810 -
811 -
812 -
813 -
814 -
815 -
816 -
817 -
818 -
819 -
820 -
821 -
822 -
823 -
824 -
825 -
826 -
827 -
828 -
829 -
830 -
831 -
832 -
833 -
834 -
835 -
836 -
837 -
838 -
839 -
840 -
841 -
842 -
843 -
844 -
845 -
846 -
847 -
848 -
849 -
850 -
851 -
852 -
853 -
854 -
855 -
856 -
857 -
858 -
859 -
860 -
861 -
862 -
863 -
864 -
865 -
866 -
867 -
868 -
869 -
870 -
871 -
872 -
873 -
874 -
875 -
876 -
877 -
878 -
879 -
880 -
881 -
882 -
883 -
884 -
885 -
886 -
887 -
888 -
889 -
890 -
891 -
892 -
893 -
894 -
895 -
896 -
897 -
898 -
899 -
900 -
901 -
902 -
903 -
904 -
905 -
906 -
907 -
908 -
909 -
910 -
911 -
912 -
913 -
914 -
915 -
916 -
917 -
918 -
919 -
920 -
921 -
922 -
923 -
924 -
925 -
926 -
927 -
928 -
929 -
930 -
931 -
932 -
933 -
934 -
935 -
936 -
937 -
938 -
939 -
940 -
941 -
942 -
943 -
944 -
945 -
946 -
947 -
948 -
949 -
950 -
951 -
952 -
953 -
954 -
955 -
956 -
957 -
958 -
959 -
960 -
961 -
962 -
963 -
964 -
965 -
966 -
967 -
968 -
969 -
970 -
971 -
972 -
973 -
974 -
975 -
976 -
977 -
978 -
979 -
980 -
981 -
982 -
983 -
984 -
985 -
986 -
987 -
988 -
989 -
990 -
991 -
992 -
993 -
994 -
995 -
996 -
997 -
998 -
999 -
1000 -

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Editor - C:\Users\USER\Desktop\WORK\get2\news1.m
news1.m
32 - Tsw(17)=T(1406:1493);
33 - Tsw(18)=T(1493:1511);
34 - Tsw(19)=T(1511:1661);
35 - Tsw(20)=T(1661:1697);
36 - Tsw(21)=T(1697:1789);
37 - Tsw(22)=T(1789:1822);
38 - Tsw(23)=T(1822:1891);
39 - Tsw(24)=T(1891:2026);
40
41 - ysw(1)=p2(146:173);
42 - ysw(2)=p2(173:194);
43 - ysw(3)=p2(194:218);
44 - ysw(4)=p2(218:333);
45 - ysw(5)=p2(333:503);
46 - ysw(6)=p2(503:541);
47 - ysw(7)=p2(541:622);
48 - ysw(8)=p2(622:784);
49 - ysw(9)=p2(784:997);
50 - ysw(10)=p2(997:1016);
51 - ysw(11)=p2(1016:1167);
52 - ysw(12)=p2(1167:1274);
53 - ysw(13)=p2(1274:1341);
54 - ysw(14)=p2(1341:1359);
55 - ysw(15)=p2(1359:1406);
56 - ysw(16)=p2(1406:1493);
57 - ysw(17)=p2(1493:1511);
58 - ysw(18)=p2(1511:1661);
59 - ysw(19)=p2(1661:1697);
60 - ysw(20)=p2(1697:1789);
61 - ysw(21)=p2(1789:1822);
62 - ysw(22)=p2(1822:1891);
63 - ysw(23)=p2(1891:2026);
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91 - A=[]; f=[];
92
93
94 - n=length(yw1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Editor - C:\Users\USER\Desktop\WORK\jcc2\jcc2\view.m
newwin 31 +
93 - n=length(yw);
94
95 - for i=1:n
96 -     AA(i) = [Tsw(i) ones(size(Tsw(i)))];
97 -     A=blkdiag(A,AA(i));
98 -     f=vertcat(f,yw(i));
99 - end
100
101 %constraints
102 - C=[]; d=zeros(n-1,1);
103
104 - for i=1:n-1
105 -     CC(i) = [Tsw(i)(end) 1 -Tsw(i)(end) -1];
106 -     %C=blkdiag(C,CC(i));
107 -     C(i,2*i-1:2*(i+1))=CC(i);
108 - end
109
110 - solvein(A,f,C,d)
111
112 - for i=1:n
113 -     line(i) = sol(2*i-1:2*i);
114 - end
115
116 - figure;
117 - for i=1:n
118 -     plot(Tsw(i),line(i),'k','hold on');
119 - end
120
121 - plot(Tsw,yw,'k'); hold off;
122
123 - figure;plot(Tsw(1),yws(1));
124
125 - figure;plot(Tsw(1),yw(1)-line(1));
126 - title('Tsw(1), yw(1)-line(1)');
127 - axis([0 140 0 140]);
128 - end
129
130 - figure;plot(Tsw,yws);
131
132 - figure;plot(Tsw,yw);
133 - title('Tsw, yw');
134 - axis([0 140 0 140]);
135 - end
136
137 - n=length(yw);
138
139 - for i=1:n
140 -     AA(i) = [Tsw(i) ones(size(Tsw(i)))];
141 -     A=blkdiag(A,AA(i));
142 -     f=vertcat(f,yw(i));
143 - end
144
145
146 %constraints
147 - D=[]; d=zeros(n-1,1);
148
149 - for i=1:n-1
150 -     DD(i) = [Tsw(i)(end) 1 -Tsw(i)(end) -1];
151 -     %D=blkdiag(D,DD(i));
152 -     D(i,2*i-1:2*(i+1))=DD(i);
153 - end

```

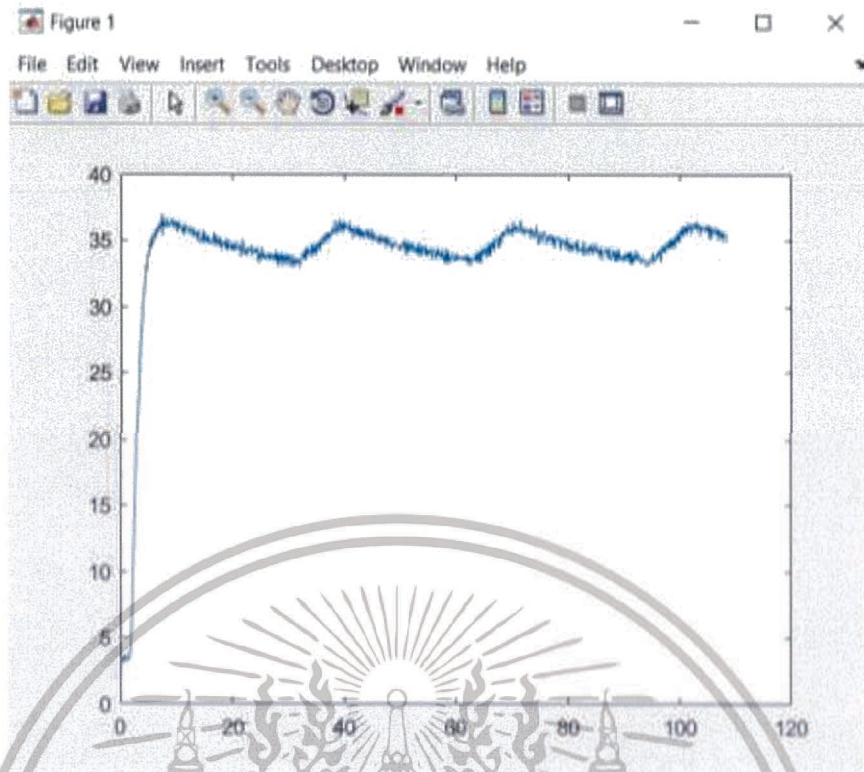
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

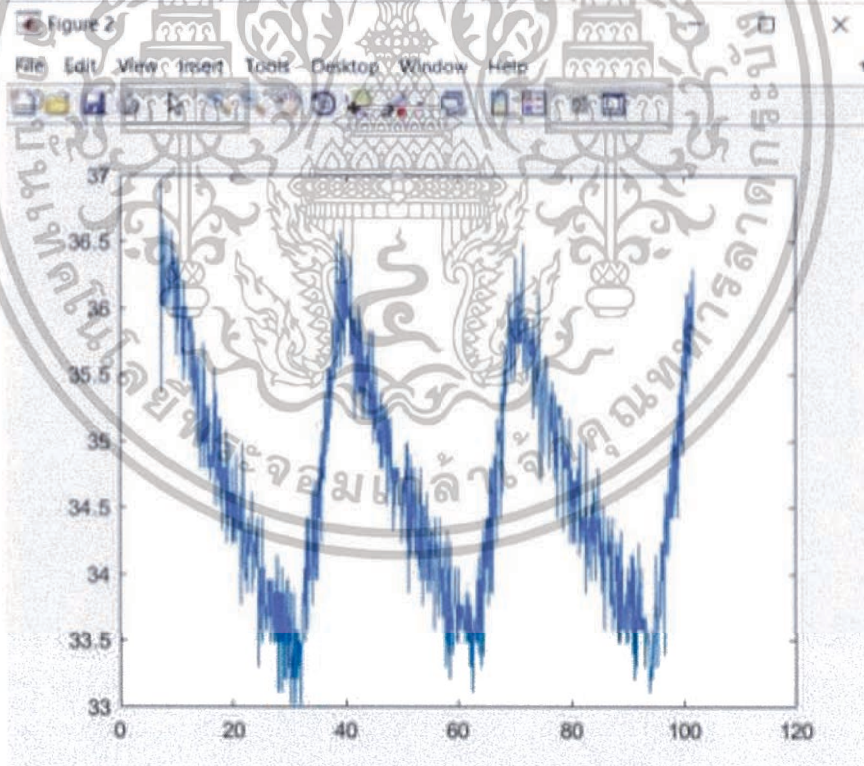
Editor - C:\User\USER\Desktop\WORK\ject2\newer.m
newer.m
154
155 - sol1=Loglinf(E,s, [], [], D,d)
156
157 - for i=1:n1
158 -     line(i) = sol1(2*i-1)*Tsw(i)+sol1(2*i):
159 - end
160
161 - figure;
162 - for i=1:n1
163 -     plot(Tsw(i),line(i),'k:x'); hold on;
164 - end
165
166 - plot(Tsw,ysw1,'c'); hold off;
167
168 - figure:plot(Tsw(1),ysw1(1)-line(1))
169
170 - Tnew1=[T(1:146)]; ynew1=[p1(1:146)];
171
172 - for i=1:n1
173 -     Tnew1=[Tnew1;Tsw(i)];
174 -     ynew1=[ynew1;p1(146)+ysw1(i)-line(i)];
175 - end
176
177 - figure:plot(Tnew1,ynew1);
178 - figure:plot(Tnew1,ynew1,Tnew1,ynew1,'a');
179
180
181 - T=Tnew1;
182 - Pressure1=ysw1;
183 - Pressure2=ynew1;
184
185
186
187 - Tnew1=[Tnew1;Tsw(1)];
188 - ynew1=[ynew1;p1(146)+ysw1(1)-line(1)];
189 - end
190
191 - figure:plot(Tnew1,ynew1);
192 - figure:plot(Tnew1,ynew1,Tnew1,ynew1);
193
194
195 - T=Tnew1;
196 - Pressure1=ynew1;
197 - Pressure2=ynew1;
198
199 - figure:plot(T,Pressure1,T,Pressure2);
200
201 - intPressure1=conttrapz(T,Pressure1); %trapezium rule
202 - intPressure2=conttrapz(T,Pressure2); %trapezium rule
203
204 - Q = [ones(size(Pressure1)) intPressure1 -intPressure2];
205 - q = [Pressure2-44.1];
206
207 - sol_Book1=q\Q;
208
209 - W = [ones(size(Pressure2)) -intPressure2 intPressure1];
210 - w = Pressure2;
211
212 - sol2_Book1=W\w;
213
214 - savefile='Book1_int.mat';
215 - save(savefile,'sol_Book1','sol2_Book1');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

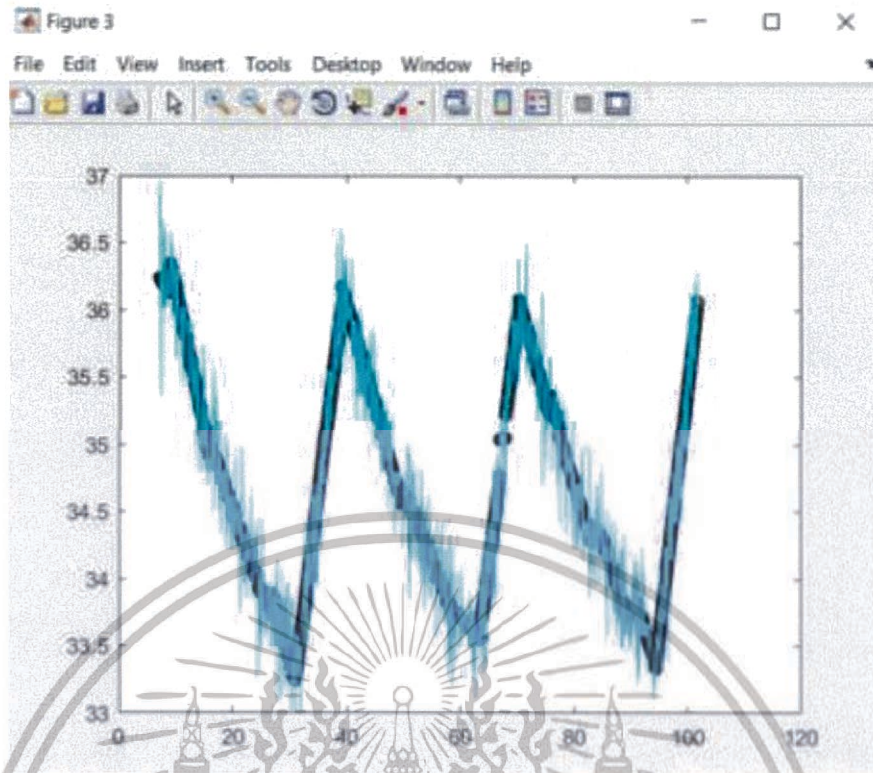


รูปที่1 กราฟ ข้อมูลของความดันอากาศ Tank2

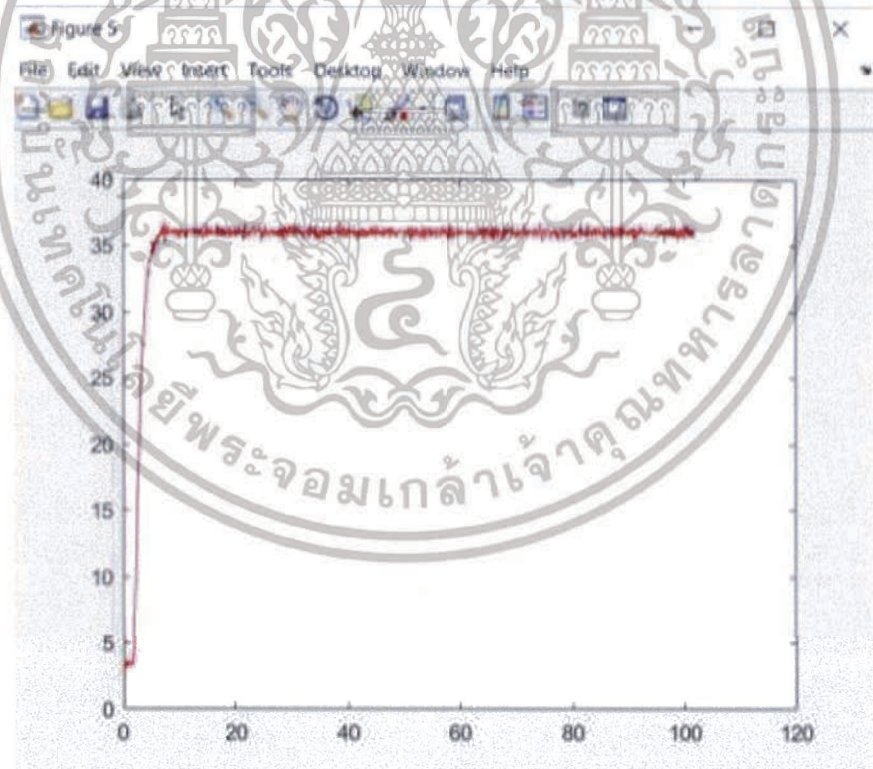


รูปที่2 กราฟ Sawtooth(ค่า error)ของความดันอากาศ Tank2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

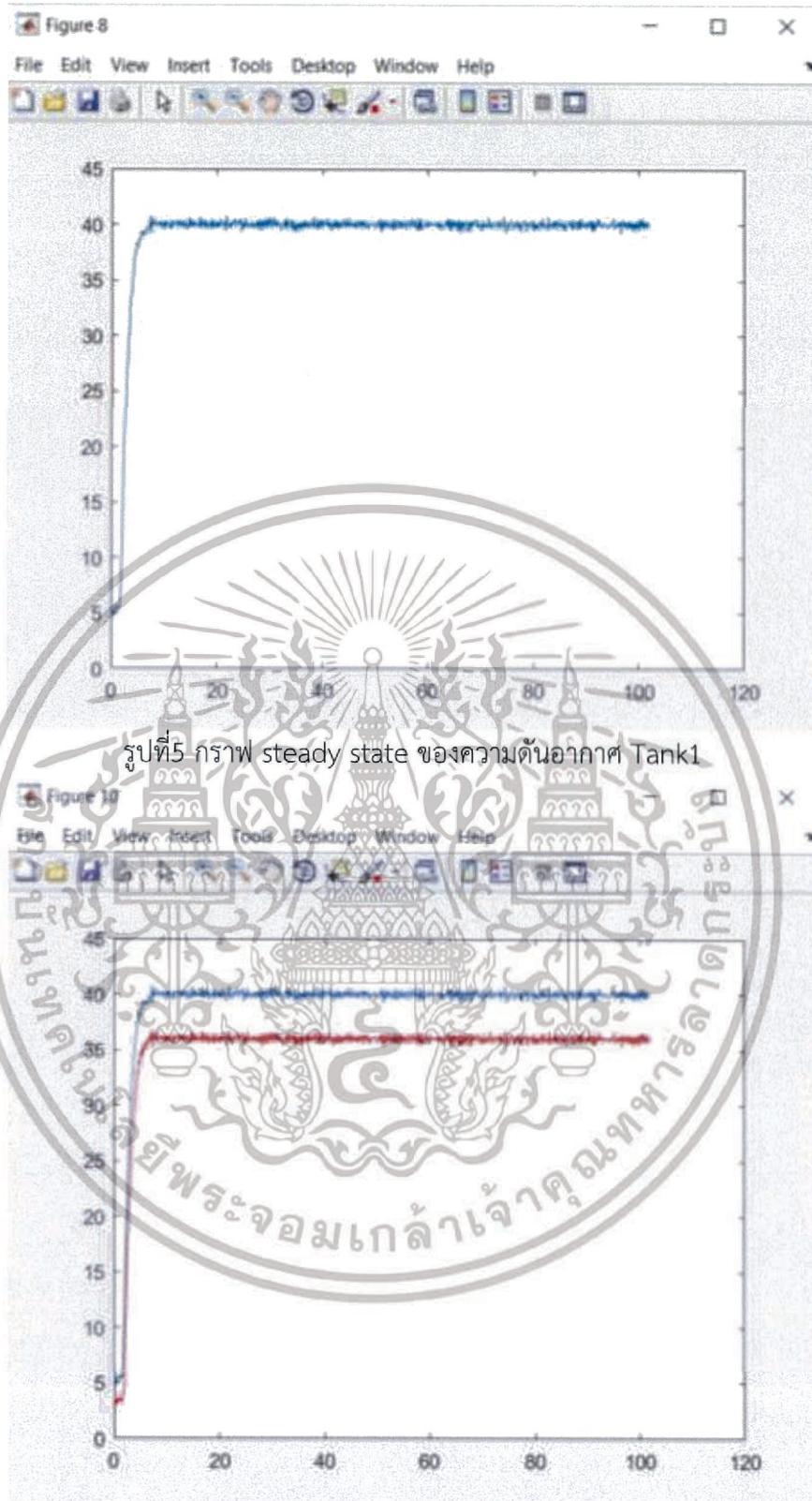


รูปที่3 กราฟ Average ของ Sawtooth



รูปที่4 กราฟ steady state ของความดันอากาศ Tank2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5 กราฟ steady state ของความดันอากาศ Tank1

รูปที่6 กราฟ steady state ของความดันอากาศเปรียบเทียบกันระหว่าง Tank1 และ Tank2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำตัวควบคุม

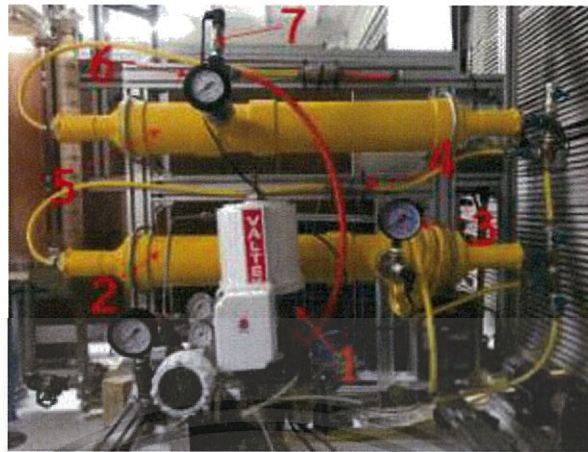
```

Editor - C:\Users\USER\Desktop\WORK\ject2\LD\m
newer.m  ValueKm  LQR.m  +
1 - close all;
2 -
3 - t=0:0.005:10;
4 - T1 = 1/4.1183;
5 - T2 = 1/4.3978;
6 - K1 = 4.5752*T1;
7 - K2 = 3.9587*T2;
8 - K = K1/T2;
9 - a=(T1+T2)/(T1*T2); b=(1+(K1*K2))/(T1*T2);
10
11
12 %L=...
13
14
15 % num = K;
16 % den = [1 a b]; %n=0.5 b=3;
17 % z = tf(num,den,'inputDelay',0.5)
18 %
19 % y=step(p,t);
20 % plot('');
21
22
23
24
25 %desired response
26 tr=0.6666;
27 ts=1.697;
28 omega=1.846;
29 xi=1.0471;
30 %compute 12 poles
31 %s1,2=tr+/-ts*xi;
32 %s3,4=tr+/-ts*xi;
33 %s5,6=tr+/-ts*xi;
34 %s7,8=tr+/-ts*xi;
35 %s9,10=tr+/-ts*xi;
36 %s11,12=tr+/-ts*xi;
37
38 %eta=1/omega;
39 %m1;
40
41 p13=(m*xi*omega^3)/eta;
42 p23=(omega^2*2*m*xi^2*omega^2-b)/eta;
43 p33=(2*m*xi*omega-a)/eta;
44
45 p11=(m*xi*omega^5*(1+2*m*xi^2))/eta;
46 p12=(4*2*m*xi^2*omega^4)/eta;
47 p22=p12*omega^3*(xi^2+2*xi^2)/eta;
48
49 q1=(m^2*xi^2*omega^4)/eta;
50 q2=(omega^4*(1+4*m^2*xi^4-2*m^2*xi^2)-b^2)/eta;
51 q3=(omega^2*(4*xi^2+m^2*xi^2-2)+2*b-a^2)/eta;
52
53 B=[0;0;K];
54 P=[p11 p12 p13;
55     p12 p22 p23;
56     p13 p23 p33];
57
58 %mpAc=[1 1 0;
59         0 1 L;
60         1-eta*p13 1-(b-eta*p23) 1+(-a+eta*p33)];
61
62 KH=L/r*b'*P

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างระบบถังความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์



โครงสร้างระบบถังความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

1. Control Valve

ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณลมที่เข้าสู่ Plant โดยรับสัญญาณจาก Power Supply 4 – 20 mA แล้วเข้า I to P แปลงเป็น 0 – 10 Bar เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว

2. ถังลม 1

ทำหน้าที่เก็บลมที่ส่งมาจาก Control Valve

3. Pressure Gauge

ทำหน้าที่วัดความดันภายในถังลม 1

4. วาล์วหมุน 8 รอบ

ทำหน้าที่ปรับความดันในถังลม 1

5. ถังลม 2

ทำหน้าที่เก็บลมที่ออกมาจากถังลม 1 ก่อนที่จะปล่อยลมออก

6. Pressure Gauge

ทำหน้าที่วัดความดันภายในถังลม 2

7. Transmitter

ทำหน้าที่รับค่าที่อ่านได้จาก Pressure Gauge มาแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งค่าไปยัง

DAQ

การหาค่า P_1 , P_2 , τ_1 , τ_2 และตัวแปรต่างๆ

$$\begin{aligned}
 & \bullet Kd := \frac{3 \tau_1 \tau_2 w \xi - \tau_1 - \tau_2}{\tau_1 k_1} \\
 & \quad Kd := 0.7297487320 \quad (m) \\
 & \bullet Kp := \frac{-2 \tau_1 \tau_2 w^2 \xi^2 - \tau_1 \tau_2 w^2 + k_1 k_2 + 1}{\tau_1 k_1} \\
 & \quad Kp := 2.252330610 \quad (m) \\
 & \bullet Ki := \frac{w^3 \xi \tau_2}{k_1} \\
 & \quad Ki := 12.19237806 \quad (m) \\
 & \bullet Tl := \frac{Kp}{Ki} \\
 & \quad Tl := 0.1847326747 \quad (m) \\
 & \bullet Td := \frac{Kd}{Kp} \\
 & \quad Td := 0.3239971649 \quad (m) \\
 & \bullet Pi := \frac{4}{2 \cdot (1.5)} \\
 & \quad Pi := 1.047197581 \quad (m) \\
 & \bullet F := \frac{4}{1.04} \\
 & \quad F := 3.846153846 \quad (m)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

+ s^2 tau1 + s^2 tau2 + s)
> GCL_plant := collect( (denom(GCL), s)
                        / (tau1 * tau2), s)
GCL_plant := s^3 + (kl kd tau1 + tau1 + tau2) s^2
              + (kl kp tau1 + kl k2 + 1) s + kl ki
> eq1 := kl * ki / tau2 = w^3 * xi
              eq1 := kl ki / tau2 = w^3 xi
> Ki := solve(eq1, ki)
              Ki := w^3 xi tau2 / kl
> eq2 := coeff(GCL_plant, s) = coeff(desired, s)
              eq2 := kl kp tau1 + kl k2 + 1 = 2 w^2 xi^2 + w^2
> Kp := solve(eq2, kp)
              Kp := -2 tau1 tau2 w^2 xi^2 - tau1 tau2 w^2 + kl k2 + 1 / tau1 kl
              eq3 := coeff(GCL_plant, s^2) = coeff(desired, s^2)
              eq3 := kl kd tau1 + tau1 + tau2 = 3 xi w
              Kd := solve(eq3, kd);
              Kd := 3 tau1 tau2 w xi - tau1 - tau2 / tau1 kl
              tau1 := 1 / 4.1183
              tau1 := 0.2428186388
              tau2 := 1 / 4.3978
              tau2 := 0.2273864205
              k1 := 4.5752 * tau1;
              k1 := 1.110943836
              k2 := 3.9587 * tau2;
              k2 := 0.9001546228
              xi := 1.0471;
              w := 3.846
              xi := 1.0471
              w := 3.846

```

```

restart:
> desired := (s + xi * w) * (s^2 + 2 * xi * w * s + w^2)
              desired := (w xi + s) (2 s w xi + s^2 + w^2)
> desired := collect(expand(desired), s)
              desired := s^3 + 3 xi w s^2 + (2 w^2 xi + w^2) s
              + w^3 xi
> C := kp + kd * s + ki / s
              C := kp + kd s + ki / s
> Hopon := (kl * tau1) / (tau1 * tau2 * s^2 + (tau1
              + tau2) * s + 1 + kl * k2)
              Hopon := kl tau1 / (tau1 tau2 s^2 + (tau1 + tau2) s + 1 + kl k2)
> GCL := simplify( C * Hopon / (1 + C * Hopon) )
              GCL := ((kd s^2 + kp s + ki) kl tau1) / (kl kd s^2 tau1
              + s^3 tau1 tau2 + kl kp s tau1 + kl k2 s + kl ki tau1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้