

การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์
เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี
A SYSTEM IDENTIFICATION FOR DOUBLE TANK INTERACTING
LEVEL PROCESS FOR PID CONTROLLER DESIGN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์
เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี
A SYSTEM IDENTIFICATION FOR DOUBLE TANK INTERACTING
LEVEL PROCESS FOR PID CONTROLLER DESIGN




น้ำฝน ฆารพูล
สุธาพร พริ้งรักษา
ชาคริต เพ็ชรรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SYSTEM IDENTIFICATION FOR DOUBLE TANK INTERACTING
LEVEL PROCESS FOR PID CONTROLLER DESIGN



NAMFON KHANPUN
SUTHAPORN PRINGRAKSA
CHAKRIT PHETCHARAT

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 2020



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี
A SYSTEM IDENTIFICATION FOR DOUBLE TANK INTERACTING LEVEL PROCESS FOR PID CONTROLLER DESIGN

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวน้ำฝน ฆารพูล รหัสนักศึกษา 60010533
นางสาวสุธาพร พริงรักษา รหัสนักศึกษา 60011093
นายชาคริต เพ็ชรรัตน์ รหัสนักศึกษา 60011296

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
ผศ.ดร.นภศูล วงษ์วานิช	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี		
	A SYSTEM IDENTIFICATION FOR DOUBLE TANK INTERACTING LEVEL PROCESS FOR PID CONTROLLER DESIGN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวน้ำฝน ฆารพูล	รหัสนักศึกษา	60010533
	นางสาวสุธาพร พริงรักษา	รหัสนักศึกษา	60011093
	นายชาคริต เพ็ชรรัตน์	รหัสนักศึกษา	60011296
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ กองรัตน์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.นภศุล วงษ์วานิช		
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เรื่องการระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี เริ่มต้นด้วยการใช้โปรแกรม LabVIEW เก็บค่าระดับของเหลวและอัตราการไหลจากการทำงานจริงของระบบ เพื่อนำค่ามาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบ ซึ่งใช้ 2 วิธี คือ วิธีปริพันธ์ และ Toolbox ใน MATLAB ต่อมาทำการเปรียบเทียบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการระบุอัตลักษณ์ทั้ง 2 วิธี ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า การระบุอัตลักษณ์โดยวิธีปริพันธ์มีค่าความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยระหว่างค่าจริงกับโมเดลน้อยที่สุด ดังนั้นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการระบุอัตลักษณ์โดยวิธีปริพันธ์มีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด หลังจากนั้นนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซิกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB แล้วจำลองเป็นระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink ผลลัพธ์ที่ได้คือตัวควบคุมพีไอดีจากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติมีค่าเหมาะสมกับระบบที่สุด จากนั้นนำค่าพีไอดีที่ได้มาจำลองในระบบควบคุมใน LabVIEW เพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าผลตอบสนองที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการใช้ฟังก์ชันค่าหน่วยเวลาที่แตกต่างกัน และค่าของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีการปิดทศนิยมต่างกันทำให้กราฟผลตอบสนองแตกต่างกัน เมื่อได้ทำการปรับแก้การเขียนโปรแกรมแล้วผลตอบสนองออกมามีความใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสามารถพิสูจน์ได้ว่า โมเดลทางคณิตศาสตร์จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์มีความใกล้เคียงกับกระบวนการจริง

Thesis	A system identification for double tank interacting level process for PID controller design	
Authors	Miss Namfon	Khanpun
	Miss Suthaporn	Pringraksa
	Mr. Chakrit	Phetcharat
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Viriya Kongratana	
Thesis Co-Advisor	Dr.Napasool Wongvanich	
Year	2020	

Abstract

This thesis presents a system identification for two tanks interacting level process for PID controller design. To find mathematical model of the system, the level and flow rate of water of both tanks were collected by using LabVIEW and the data were exported to MATLAB to find mathematical model which was calculated by two methods are system identification by integral method and Toolbox in MATLAB. Next, mathematical models from two methods were compared with actual data from the system by absolute mean error. The results show that mathematical model from system identification by integral method has less error than from Toolbox in MATLAB. For PID controller design, mathematical model was calculated into transfer function and design PID with two methods which are Ziegler-Nichols step response method and PID Tuner in MATLAB then simulated in Simulink. The result shows that PID controller from PID Tuner method is more suitable with this system. After that, The system with PID controller simulation in Simulink and LabVIEW were compared. The responses have different transient response characteristics. It was found that parts that made the responses different were the difference between time delay function, and the value of transfer function with different decimal rounding in LabVIEW. But after the program was modified and compared again, the responses have similar characteristics. It can be concluded that mathematical model from system identification by integral method is effective for both simulations and closes to the actual system.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยคำปรึกษา คำแนะนำ ความเข้าใจใสอย่างดี และ
แนะแนวทางในแก้ปัญหาและการดำเนินชีวิตจาก รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์ และ ดร.นภศุล
วงษ์วานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำซาบซึ่งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์
ทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้
ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่คณะผู้จัดทำ และให้คำปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนการให้
กำลังใจในการทำงานจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบพระขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่คอยให้กำลังใจ
คอยสนับสนุน คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่าง ๆ ซึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไป
ด้วยดี

ประโยชน์และคุณค่าของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแก่ บิดา มารดา และคณะ
อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ตลอดจนคณะอาจารย์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดปริญญาานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 การออกแบบและวิธีดำเนินงาน.....	4
2.1 ระบบควบคุม.....	4
2.1.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม.....	4
2.1.2 ประเภทของระบบควบคุม.....	5
2.2 การระบุอัตลักษณ์ของระบบ.....	6
2.2.1 White Box Identification.....	6
2.2.2 Gray Box Identification.....	6
2.2.2 Black Box Identification.....	7
2.3 ปริพันธ์ (Integral).....	7
2.3.1 วิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method).....	8
2.4 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method).....	9
2.5 ตัวควบคุม (Controller).....	11
2.5.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller).....	11
2.5.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Controller).....	11
2.5.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller).....	12
2.5.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller).....	12
2.6 การหาค่าพีไอดีโดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Method).....	13
2.6.1 วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์.....	14
(Ziegler-Nichols Step Response Method)	
2.6.2 วิธีความถี่ของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Frequency).....	14

2.7	วิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB.....	15
2.8	คุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได	17
2.9	โปรแกรม LabVIEW.....	18
2.9.1	Front Panel.....	18
2.9.2	Block Diagram.....	19
2.10	อุปกรณ์อื่นๆ.....	19
2.10.1	อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)	19
2.10.2	DAQ NI USB-6009.....	20
2.10.3	Current to Pneumatic Converter.....	21
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3	การออกแบบและวิธีดำเนินงาน	22
3.1	แบบจำลองการควบคุมระดับถังแบบปฏิสัมพันธ์	22
3.2	การออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อเก็บค่าและบันทึกข้อมูล	24
3.3	การระบุอัตลักษณ์ของระบบ.....	26
3.3.1	การระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์	27
3.3.2	การระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB.....	30
3.4	การออกแบบตัวควบคุมพีไอดี.....	34
3.4.1	วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์.....	34
	(Ziegler-Nichols Step Response Method)	
3.4.2	วิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB.....	36
3.5	การจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink	38
บทที่ 4	ผลการทดลอง	39
4.1	ผลการทดลองจากการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์	39
4.2	ผลการทดลองของการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB.....	40
4.3	ผลการการคำนวณค่าพีไอดีจากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได.....	43
	ของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method)	
4.4	ผลการคำนวณค่าพีไอดีจากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner	45
	ใน MATLAB	
4.5	ผลการจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink ใน MATLAB.....	46
4.6	ผลการเปรียบเทียบของการจำลองระบบควบคุมระหว่าง Simulink ใน MATLAB	47
	และ LabVIEW	
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	51
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	52
	บรรณานุกรม	53
	ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลตอบสนองต่าง ๆ เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_D ของตัวควบคุมพีไอดี.....	13
2.2 ค่าอัตราขยาย โดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์	14
2.3 ค่าอัตราขยาย โดยวิธีความถี่ของซีกเกลอร์-นิโคลส์	15
3.1 ค่าอัตราขยาย โดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์	34
4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุลักษณะของระบบสำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์	40
โดยวิธีปริพันธ์ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	
4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุลักษณะของระบบสำหรับ	42
โมเดลทางคณิตศาสตร์โดยใช้ Toolbox ใน MATLAB ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	
4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.1	42
ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	
4.4 ตารางแสดงผลการหาพารามิเตอร์โดยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์	43
4.5 ตารางแสดงอัตราขยายโดยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์	44
4.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดที่ตัวควบคุมต่าง ๆ	45
โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อน	
อินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	
4.7 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดที่ตัวควบคุมต่าง ๆ	47
โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่า	
เป้าหมายเป็น 50%	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนผังองค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม 4
2.2	แผนผังระบบควบคุมแบบเปิด 5
2.3	แผนผังระบบควบคุมแบบปิด..... 6
2.4	แผนผังการระบุอัตลักษณ์ของระบบ 6
2.5	แผนผังการระบุอัตลักษณ์ของระบบ 6
2.6	ปริพันธ์ของ $f(x)$ คือพื้นที่ที่อยู่ระหว่างเส้น $y = f(x)$ กับแกน x และอยู่ในช่วง $[a, b]$ 7
2.7	การหาค่าปริพันธ์โดยใช้วิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู 8
2.8	การหาเส้นแนวโน้มที่เหมาะสมกับกำลังสองน้อยที่สุด 9
2.9	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน 11
2.10	ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ 12
2.11	ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ 12
2.12	ตัวควบคุมแบบพีไอดี 13
2.13	การตอบสนองของระบบโดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ 14
2.14	หน้าต่างโปรแกรม PID Tuner..... 15
2.15	การปรับ Response Time และ Transient Behavior 16
2.16	อัตราขยาย P I และ D ภายในโปรแกรม..... 16
2.17	ปุ่ม Tune เพื่อให้โปรแกรมหาค่า P I และ D ให้กับระบบโดยอัตโนมัติ..... 16
2.18	กราฟผลตอบสนองชั่วขณะของระบบเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย..... 17
2.19	โปรแกรม LabVIEW..... 18
2.20	Front Panel..... 18
2.21	Block Diagram 19
2.22	Differential Pressure Transmitter 19
2.23	รูปร่างลักษณะของ NI USB-6009 20
2.24	Port ของ NI USB-6009 20
2.25	Differential Pressure Transmitter 21
3.1	อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์ควบคุม 22
3.2	P&ID ของการควบคุมระดับน้ำ..... 23
3.3	แผนผังการติดต่อระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์..... 24
3.4	Front Panel แสดงผลการทำงานของโปรแกรม และสั่งการโปรแกรม..... 24
3.5	Block Diagram ส่วน Output ในการเปิด/ปิด วาล์วควบคุม 25
3.6	Block Diagram ส่วน Input ซึ่งรับและบันทึกค่าที่ได้จากการวัดระดับ และอัตราการไหล..... 25
3.7	ข้อมูลจากการเก็บค่าต่าง ๆ ที่บันทึกใน Excel 26
3.8	ถึงทั้งสองต่อแบบปฏิสัมพันธ์กัน 27
3.9	แผนผังแสดงขั้นตอนการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบ..... 30
	ด้วยวิธีปริพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.10	นำข้อมูลเข้าใน Command Window ใน MATLAB.....	32
3.11	Toolbox System Identification ใน MATLAB.....	32
3.12	Import Data ในรูปแบบ Time Domain Data.....	33
3.13	เลือก ARMAX แล้วทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์.....	33
3.14	การตอบสนองของระบบโดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์.....	34
3.15	แผนผังระบบควบคุมแบบปิด.....	35
3.16	โปรแกรม PID Tuner ใน MATLAB.....	36
3.17	การนำเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแบบเปิดในโปรแกรม PID Tuner.....	37
3.18	การเลือกประเภทของตัวควบคุมบนโปรแกรม PID Tuner ใน MATLAB.....	37
3.19	หน้าต่างของโปรแกรม PID Tuner แสดงกราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบ ไอดีเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	37
3.20	การเขียนบล็อกไดอะแกรมเพื่อเปรียบเทียบตัวควบคุมประเภทต่าง ๆ เมื่อป้อนค่า เป้าหมายเป็น 50% บน Simulink	38
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 1 จากระบบจริง (สีแดง) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์ (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	39
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 2 จากระบบจริง (สีแดง) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์ (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	40
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 1 จากระบบจริง (สีดำ) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	41
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 1 จากระบบจริง (สีดำ) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	41
4.5	กราฟผลตอบสนองของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	43
4.6	กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพี, แบบพีไอ และแบบพีไอ... ดี ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์เมื่อ ป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย เทียบกับเวลา (วินาที)	44
4.7	กราฟแสดงผลการตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีซึ่งคำนวณโดยอัตโนมัติโดย .. โปรแกรม PID Tuner เมื่อป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	45
4.8	กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่ไม่มีตัวควบคุม, มีตัวควบคุมแบบพี, แบบพีไอ และแบบพีไอดี ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได ของซีกเกเลอร์-นิโคลส์ และมีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติ เมื่อป้อนค่าเป้าหมาย 50% เทียบกับเวลา (วินาที)	46
4.9	กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบ..... ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมาย เป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน Simulink	48

4.10 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบ	48
ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมาย เป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW	
4.11 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการ	49
ปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน Simulink	
4.12 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการ	49
ปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW	
4.13 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบ	50
ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมาย เป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW (ที่ปรับแก้)	
4.14 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการ	50
ปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติ โดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW (ที่ปรับแก้)	



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด การควบคุม และระบบอัตโนมัติ มีการใช้อย่างแพร่หลายและจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ที่ต้องการเป็นสิ่งสำคัญ ระบบควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือระบบพีไอดีหรือระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดป้อนให้กับระบบ ซึ่งในการหาค่าพีไอดีที่ถูกต้องและแม่นยำต้องทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด ในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องเก็บข้อมูลจากกระบวนการจริง วิจัยนี้จึงใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเก็บข้อมูลและควบคุมกระบวนการจริง โดย โปรแกรม LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) เป็นโปรแกรมเครื่องมือวัดและการวัดเสมือนจริงทางวิศวกรรม เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) คือไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่งใด ๆ ดังนั้นการใช้คำสั่งในโปรแกรมนี้เป็นการใช้ภาษา G (Graphical Language) หรือภาษารูปภาพ ที่เป็นรูปแบบรูปภาพหรือสัญลักษณ์ สามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรม โดยเฉพาะงานเขียนโปรแกรมที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้ในการวัดและควบคุม หรือในการเก็บข้อมูลจากการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับ LabVIEW คือ DAQ (Data Acquisition) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรม LabVIEW ในคอมพิวเตอร์และเครื่องมือวัด ระบบ DAQ เป็นการรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในระบบงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สามารถใช้ DAQ ร่วมกับฮาร์ดแวร์เพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพ เช่น อัตราการไหล ระดับของเหลว แล้วแปลงเข้าสู่คอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้กับซอฟต์แวร์อื่น ๆ ต่อไป โปรแกรม LabVIEW นอกจากใช้งานในการเขียนโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมแล้ว ยังนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมเก็บค่าและวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการระบุอัตลักษณ์ของระบบ อ้างอิงจาก Pongsakorn Somkane นำเสนอการระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธีปริพันธ์และใช้ฟังก์ชัน ARMAX ในโปรแกรม MATLAB โดยระบบในงานวิจัยนี้เป็นระบบควบคุมระดับน้ำถังคู่แบบไม่ปฏิสัมพันธ์กัน ทำการทดลองเปิดวาล์วและบันทึกค่าที่ร้อยละของการเปิดวาล์ว เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทางกายภาพ หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์แล้วนั้น จึงนำค่ามาเปรียบเทียบกับว่าโมเดลใดที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด พบว่าการระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์สำหรับโมเดลที่มีการสื่อสารฮาร์ทแบบไร้สาย มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยระหว่างค่าจริงและโมเดลน้อยที่สุด จากนั้นนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการระบุอัตลักษณ์ของกระบวนการระดับของเหลว ถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์และวิธีใช้ Toolbox ใน MATLAB จากนั้นทำการทดลองด้วยการเปิดวาล์ว และทำการบันทึกค่าระดับของน้ำทั้งสองถัง และค่าอัตราการไหล เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปหาค่าพารามิเตอร์ของทั้งสองวิธีแล้วนำมาเปรียบเทียบ เพื่อหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยระหว่างค่าจริงและโมเดลน้อยที่สุด เมื่อได้โมเดลทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับระบบ จึงนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์ และตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB และทำการจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมดังกล่าวข้างต้นที่ได้จากทั้งสองวิธีบน Simulink จากนั้นเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของแต่ละตัวควบคุม เมื่อป้อนค่าเป้าหมายระดับของของเหลวเป็น 50% เพื่อเปรียบเทียบว่าตัวควบคุมแบบใดเหมาะสมกับระบบที่สุด ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยการระบุเอกลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อจำลองผลลัพธ์กระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW เนื่องจากงานวิจัยทั้งสองได้ทำการศึกษากระบวนการระดับของเหลวถังแบบปฏิสัมพันธ์ และหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งเป็นระบบเดียวกัน โดยจะนำกราฟผลตอบสนองที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีบน Simulink เปรียบเทียบกับกราฟผลตอบสนองจากการจำลองผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบนี้มีความถูกต้องและแม่นยำมากเพียงใด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยการระบุอัตลักษณ์
2. เพื่อเปรียบเทียบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หาได้จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์และวิธีใช้ Toolbox ใน MATLAB
3. เพื่อนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ไปออกแบบตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมกับระบบ
4. เพื่อเปรียบเทียบกราฟของผลตอบสนองที่ได้มาจากการจำลองการทำงานบน Simulink กับการจำลองกับการทำงานในโปรแกรม LabVIEW
5. เพื่อควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพมากที่สุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หาได้จากการระบุอัตลักษณ์โดยวิธีแบบปริพันธ์มีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากกว่าการใช้วิธี Toolbox ใน MATLAB
2. โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หาได้จากการระบุอัตลักษณ์โดยวิธีแบบปริพันธ์ สามารถนำไปใช้ออกแบบตัวควบคุมพีไอดีได้อย่างเหมาะสม
3. ตัวควบคุมพีไอดีที่ได้มาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ทำให้กระบวนการสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. เพื่อเข้าใจถึงกระบวนการทำงานของระบบควบคุมอัตราไหลและระดับ
2. ศึกษาการออกแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบ
3. ศึกษาการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธีปริพันธ์
4. ศึกษาการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธี Toolbox ใน MATLAB
5. ศึกษาการหาค่า PID เพื่อควบคุมระบบโดยใช้ค่าอัตลักษณ์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจถึงกระบวนการทำงานของระบบควบคุมอัตราการใช้และระดับ
2. สามารถหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ได้
3. สามารถระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธีปริพันธ์
4. สามารถระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธี Toolbox ใน MATLAB
5. สามารถหาค่า PID ที่เหมาะสมกับโมเดลคณิตศาสตร์

1.6 รายละเอียดปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน ดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา
 สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ รายละเอียดปฏิญานิพนธ์
- บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน
- บทที่ 4 ผลการทดลอง
- บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น หลักการของระบบควบคุม คำนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุม องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม ประเภทของระบบควบคุม ซึ่งมีระบบควบคุมแบบเปิด ระบบควบคุมแบบปิดหรือแบบป้อนกลับ และหลักการระบุอัตลักษณ์ของระบบ ในส่วนทฤษฎีของการระบุอัตลักษณ์ของระบบประกอบด้วย การปรับพารามิเตอร์โดยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด หลักการของตัวควบคุมและชนิดของตัวควบคุม การหาค่าพีไอดี โปรแกรม LabVIEW และ อุปกรณ์ต่างๆ สุดท้ายคืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม (Control System) คือ กระบวนการในระบบที่ใช้ในการควบคุมระบบหรือสิ่ง ที่ผู้ออกแบบระบบต้องการควบคุมเพื่อที่จะได้ค่าเอาต์พุตตามที่ต้องการ โดยทำการป้อนค่าอินพุต ให้กับระบบ คำนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมมีดังนี้

1. อินพุต (Input) หมายถึง ค่าหรือสัญญาณที่ต้องการป้อนเข้าสู่ระบบ
2. เอาต์พุต (Output) หมายถึง ผลลัพธ์ที่เป็นค่าหรือสัญญาณซึ่งได้จากการทำงานของระบบ ควบคุม
3. ระบบ (System) หมายถึง กระบวนการในการควบคุมเพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการ
4. ระบบควบคุมวงเปิด (Open Loop Control) หมายถึง การป้อนอินพุตเข้าสู่ระบบแล้วได้ เอาต์พุตที่ไม่ต้องป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบค่าอินพุต เอาต์พุตนั้นไม่มีผลต่อระบบ ควบคุม
5. ระบบควบคุมวงปิด (Closed Loop Control) หมายถึง การป้อนอินพุตเข้าสู่ระบบแล้วนำ เอาต์พุตที่ได้ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบค่าอินพุต เอาต์พุตมีผลต่อระบบควบคุม
6. ดิสทอร์เบอแลนซ์ (Disturbance) หมายถึง สัญญาณหรือสิ่งรบกวนที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงสาเหตุอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนภายนอกหรือป้อนมากับค่าอินพุต

2.1.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม

ในการประยุกต์ใช้งานของระบบควบคุมนั้น ส่วนที่พิจารณามีองค์ประกอบพื้นฐานดังรูป

ที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังองค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม

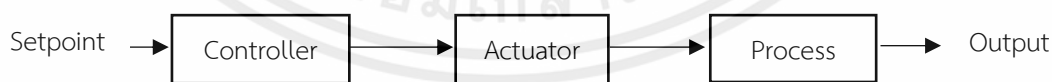
1. กำหนดค่าเป้าหมาย (Setpoint) คือ การกำหนดค่าเป้าหมายหรือการตั้งค่าอ้างอิง (Reference Input) ของกระบวนการในระบบที่ต้องการควบคุม
2. ชุดควบคุม (Controller) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประมวลผลของระบบประกอบด้วยชุดฮาร์ดแวร์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ชุดซอฟต์แวร์เป็นโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีเป้าหมายให้มีการตอบสนองค่าเอาต์พุตที่ต้องการ
3. ชุดกระตุ้นระบบ (Actuator) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เช่น เปลี่ยนสัญญาณควบคุมไปเป็นพลังงานความร้อนใช้เครื่องทำความร้อน (Heating System) เป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน
4. กระบวนการ (Process) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ดำเนินการเมื่อได้รับสัญญาณจากการทำงานในส่วนของชุดกระตุ้น
5. ผลของระบบ (Output System) คือ ผลลัพธ์จากการทำงานของระบบ ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบผลตอบสนองของระบบ ซึ่งทำให้ทราบค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ (Error) เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบควบคุม

2.1.2 ประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) และระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

2.1.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบเปิด คือ ระบบที่มีการป้อนอินพุตเข้าสู่ระบบ (System) แล้วได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นสัญญาณหรือเอาต์พุตและเอาต์พุตที่ได้มานั้นจะไม่มีป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับอินพุต ซึ่งทำให้ค่าเอาต์พุตไม่มีผลต่อการบ่งบอกหรือคำนวณค่าที่เหมาะสมกับลักษณะการควบคุม และใช้ระบบนี้ได้ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตโดยระบบนี้ต้องไม่มีสิ่งรบกวน แผนผังระบบควบคุมแบบเปิดดังรูปที่ 2.2

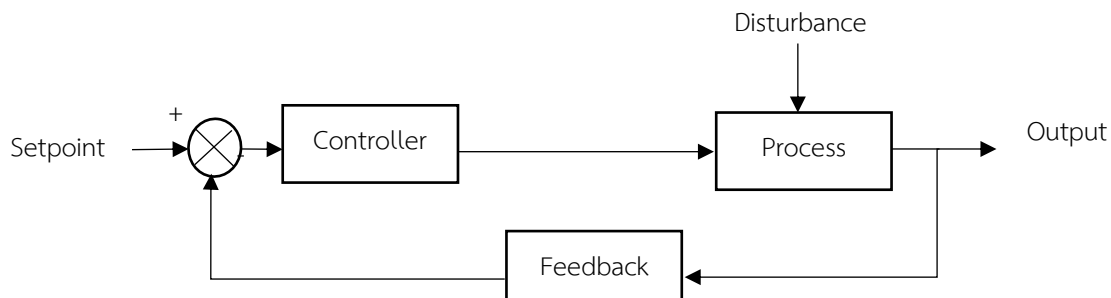


รูปที่ 2.2 แผนผังระบบควบคุมแบบเปิด

2.1.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) คือ ระบบที่มีการป้อนอินพุตเข้าสู่ระบบ (System) แล้วได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นสัญญาณหรือเอาต์พุตและเอาต์พุตที่ได้มานั้นจะป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับอินพุตเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ส่งให้ชุดควบคุมเพื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นลดค่าความคลาดเคลื่อนให้เหลือศูนย์ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ แผนผังระบบควบคุมแบบปิดดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนผังระบบควบคุมแบบปิด

2.2 การระบุอัตลักษณ์ของระบบ

การระบุอัตลักษณ์ของระบบเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) โดยที่ต้องทราบค่าอินพุตซึ่งอาจเกิดจากการวัด และต้องทราบเอาต์พุตหรือผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการเก็บค่าจากการทดลอง โดยการระบุอัตลักษณ์มีแผนผังดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังการระบุอัตลักษณ์ของระบบ

การสร้างโมเดลจะอยู่ในรูปแบบของกล่อง (Box) ดังรูปที่ 2.5 จำแนกได้ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แผนผังการระบุอัตลักษณ์ของระบบ

2.2.1 White Box Identification

White Box เป็นการหาโมเดลที่ทราบค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของระบบทั้งหมด และโมเดลที่ได้จากการหาแบบ White Box นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

2.2.2 Gray Box Identification

Gray Box เป็นการหาโมเดลที่ทราบค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของระบบเพียงบางส่วน เนื่องจากค่าพารามิเตอร์บางชนิดไม่สามารถหาค่าได้ จึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบในการหาค่าพารามิเตอร์นั้น

2.2.2 Black Box Identification

Black Box เป็นการหาโมเดลที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของระบบเลยและไม่มีทฤษฎีรองรับ ทำให้การหาโมเดลด้วยวิธีนี้ต้องลองผิดลองถูกในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

2.3 ปริพันธ์ (Integral)

ปริพันธ์ คือฟังก์ชันที่ใช้หาพื้นที่ ปริมาตร หรือผลรวมต่าง ๆ กล่าวคือ การหาค่าปริพันธ์เป็นการรวมค่าการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ (dx) เพื่อให้ได้ค่าของฟังก์ชันดั้งเดิม ตรงข้ามกับการหาอนุพันธ์ ซึ่งเป็นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน

การหาปริพันธ์มี 2 แบบคือ

1. การหาปริพันธ์ไม่จำกัดเขต (Indefinite Integration)
2. การหาปริพันธ์จำกัดเขต (Definite Integration)

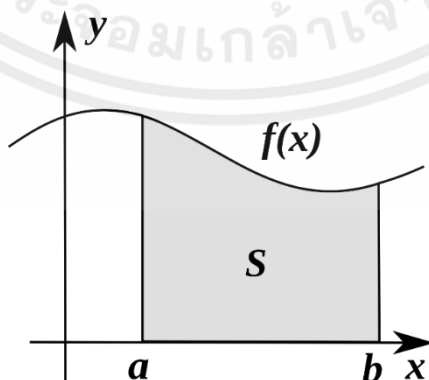
คำตอบของการหาปริพันธ์แบบจำกัดเขต แม้จะได้คำตอบเป็นตัวเลข แต่จะใช้ได้เฉพาะบางกรณี สำหรับกรณีที่ไม่สามารถใช้ได้ จะใช้วิธีการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลขแทน ส่วนการหาปริพันธ์แบบไม่จำกัดเขตจะไม่เป็นเลขจำนวน แต่จะอยู่ในรูปของฟังก์ชันหรือช่วง ซึ่งการหาค่าตอบจะใช้วิธีการทางแคลคูลัส

บทนิยาม: ฟังก์ชัน F จะถูกเรียกว่าเป็นปฏิยานุพันธ์หรือปริพันธ์ (Integration or Antiderivative) ของฟังก์ชัน f ถ้า $F'(x) = f(x)$ บนบางช่วงเปิด (a, b)

สำหรับทุก $F(x) + C$ เมื่อ C เป็นค่าคงตัวใด ๆ $\frac{d}{dx}(F(x) + C) = f(x)$ ดังนั้นจะใช้สัญลักษณ์ ของปริพันธ์ของ $f(x)$ เป็น

$$\int f(x)dx = F(x) + C \quad (2.1)$$

อาจกล่าวว่า Integration เป็น Inverse Operator ของ Derivative
สัญลักษณ์ \int เรียกว่า Integral sign และเรียก $f(x)$ ว่า Integrand

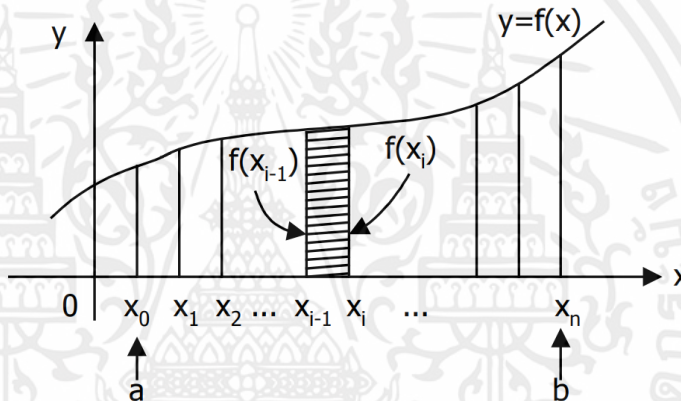


รูปที่ 2.6 ปริพันธ์ของ $f(x)$ คือพื้นที่ที่อยู่ระหว่างเส้น $y = f(x)$ กับแกน x และอยู่ในช่วง $[a, b]$

สำหรับปริพันธ์แบบจำกัดเขต ในการหาค่าปริพันธ์เชิงตัวเลข ประกอบไปด้วยหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุดคือวิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู

2.3.1 วิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Method)

วิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นการแบ่งพื้นที่ใต้โค้งออกเป็นส่วนย่อย n ส่วนเท่า ๆ กัน แล้วหาพื้นที่ของสี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละรูป จากนั้นนำพื้นที่สี่เหลี่ยมแต่ละรูปมารวมกัน จะได้คำตอบเป็นปริพันธ์ของฟังก์ชัน $f(x)$ ในช่วงตัวแปร x เปลี่ยนแปลงจาก a ถึง b เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.7 ดังนั้น ถ้าแบ่งพื้นที่ใต้โค้งออกเป็นส่วนย่อยมากขึ้น จะทำให้มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่า ดังนั้นในทางทฤษฎีจะย่อจำนวนสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นอนันต์ เพื่อให้มีความถูกต้องที่สุด แต่ความคลาดเคลื่อนจะมาจากการปัดค่า โดยทั่วไป หากต้องการหาค่าปริพันธ์ของฟังก์ชัน $f(x)$ จาก $x = a$ ถึง $x = b$ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การหาค่าปริพันธ์โดยใช้วิธีการประมาณด้วยสี่เหลี่ยมคางหมู

หากใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู แบ่งส่วนย่อยเป็น n ส่วนที่เท่ากันจากช่วง a ถึง b จะได้สี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละส่วนที่มีขอบเขตอยู่ที่ $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ พิจารณาสี่เหลี่ยมคางหมูลำดับที่ i ซึ่งอยู่ระหว่าง x_{i-1} และ x_i จะมีความกว้างเป็น $w = \frac{b-a}{n}$ ความสูงด้านซ้าย $f(x_{i-1})$ และความสูงด้านขวา $f(x_i)$ สูตรการคำนวณหาพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูคือ $\frac{1}{2} \times \text{สูง} \times \text{ผลบวกของด้านคู่ขนาน}$ จะได้พื้นที่ของสี่เหลี่ยมคางหมูลำดับที่ i เป็น

$$A_i = \frac{W}{2} (f(x_{i-1}) + f(x_i)) \quad (2.2)$$

กำหนดให้ T_n เป็นผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู n รูป จะได้

$$T_n = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

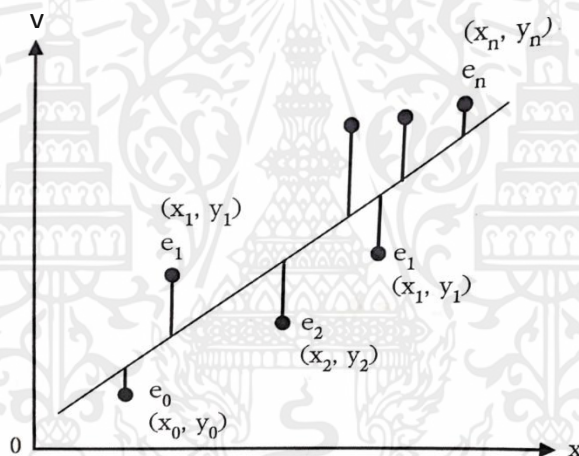
$$T_n = \frac{W}{2} [(f(x_0) + f(x_1))] + \frac{W}{2} [(f(x_1) + f(x_2))] + \frac{W}{2} [(f(x_2) + f(x_3))] + \dots + \frac{W}{2} [(f(x_{n-2}) + f(x_{n-1}))] + \frac{W}{2} [(f(x_{n-1}) + f(x_n))] \quad (2.4)$$

$$T_n = \frac{W}{2} [(f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n))] \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับ การแบ่งจำนวนสี่เหลี่ยมคางหมูที่ใช้ในการประมาณค่า ในทางทฤษฎีอาจต้องใช้สี่เหลี่ยมคางหมูหลายรูป แต่ในความเป็นจริง เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ พบว่าจำนวนสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมจะมีจำนวนหนึ่งเท่านั้น

2.4 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method)

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นวิธีการที่ใช้สร้างเส้นแนวโน้มที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าแนวโน้มกับค่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมมามีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.8 การหาเส้นแนวโน้มที่เหมาะสมกับกำลังสองน้อยที่สุด

ให้สมการเส้นแนวโน้มเป็น

$$y = ax + b \quad (2.6)$$

เซตของค่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมเป็น $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ เมื่อเส้นแนวโน้มผ่านจุด (x_i, y_i) จะได้

$$y(x_i) = ax_i + b \quad (2.7)$$

ค่าผลต่างหรือความผิดพลาด e_i ระหว่างค่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมกับค่าคาดหวังบนเส้นแนวโน้ม $y = y_i$ สามารถนิยามได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e_i = y(x_i) - (ax_i + b), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.8)$$

ดังนั้น ผลรวมกำลังสองของผลต่างข้างต้นจะเป็น

$$E = \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b))^2 \quad (2.9)$$

เพื่อค่า E ที่น้อยที่สุด จะทำการหาอนุพันธ์บางส่วน (Partial derivatives) a และ b

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 = 2 \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b)) \cdot (-1) \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0 = 2 \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b)) \cdot (-x_i) \quad (2.10)$$

สมการที่ 2.10 เมื่อหารด้วย x_i จะได้สมการเดียวกันกับสมการที่ 2.11 หากค่า a และ b จากผลรวมสมการที่ 2.11

$$yx_1 + yx_2 + \dots + yx_n = (ax_1 + b) + (ax_2 + b) + \dots + (ax_n + b) \quad (2.12)$$

แก้สมการที่ 2.12 ด้วยเมทริกซ์ Overdetermined system ดังนี้

$$A\underline{x} = \underline{b} \quad (2.13)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(x_1) \\ y(x_2) \\ \vdots \\ y(x_n) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

แก้สมการที่ 2.14 ด้วยกระบวนการทางเมทริกซ์ เพื่อให้สามารถแก้สมการได้จะต้องคูณด้วย A^T

$$(A^T A)\underline{x} = A^T \underline{b} \quad (2.15)$$

$$\underline{x} = (A^T A)^{-1} A^T \underline{b} \quad (2.16)$$

ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการหาค่า a และ b ด้วยการหาค่าเวกเตอร์ \underline{x} จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

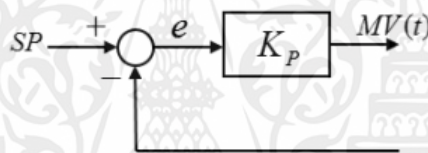
2.5 ตัวควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมจะเป็นแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ โดยสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดจะถูกควบคุมด้วยการคำนวณปรับค่าให้เหมาะสม ค่าที่นำมาคำนวณคือค่าความผิดพลาด (Error) ของค่าตัวแปรของระบบและสัญญาณอ้างอิง โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวควบคุม PID ซึ่งมี ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ตัวควบคุมแบบปริพันธ์และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

2.5.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน คือ สัญญาณควบคุมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญาณความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากค่าสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมายกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ต้องการควบคุม จากนั้นตัวควบคุมทำการสร้างสัญญาณกระตุ้น (Manipulated Variable) ด้วยการขยายค่าสัญญาณความผิดพลาดด้วยเกนของตัวควบคุม (K_p) ตามสมการที่ 2.17 ประโยชน์ของตัวควบคุมสัดส่วน คือลดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงที่ของระบบ โดยการตอบสนองกับค่าสัญญาณความผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว

$$MV(t) = K_p e(t) \quad (2.17)$$



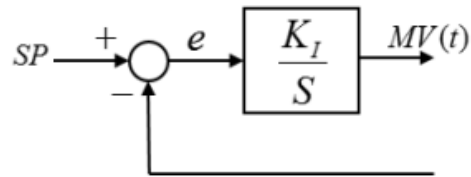
รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

2.5.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Controller)

ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ คือ นำสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมายกับสัญญาณเอาต์พุตมาเป็นอินทิเกรต ตัวควบคุมทำการสร้างสัญญาณกระตุ้นด้วยการอินทิเกรตค่าสัญญาณความผิดพลาดและนำไปคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบปริพันธ์จะลดความผิดพลาดในสภาวะคงที่แต่ในขณะเดียวกันค่าความเสถียรภาพของระบบก็ลดน้อยลงและมีการเพิ่มอันดับให้กับระบบ เช่น หากระบบเป็นอันดับหนึ่งแต่เมื่อใช้ตัวควบคุมนี้ก็จะเพิ่มเป็นอันดับสอง

$$MV(t) = K_I \int e(t) dt \quad (2.18)$$

$$MV(t) = \frac{K_I}{T_i} \int e(t) dt \quad (2.19)$$



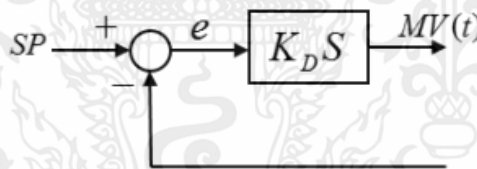
รูปที่ 2.10 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์

2.5.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller)

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ คือ นำสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมายกับสัญญาณเอาต์พุตมาเป็นอินพุต ตัวควบคุมทำการสร้างสัญญาณกระตุ้นด้วยการอนุพันธ์ค่าสัญญาณความผิดพลาดและนำไปคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม ประโยชน์ของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ช่วยเพิ่มค่าความหน่วงให้กับระบบที่ต้องการควบคุม ตามสมการที่ 2.20 ในเทอมของค่าเวลาคงที่ของอัตราขยายตามสมการที่ 2.21 และระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น แต่ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ส่วนมากใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบอื่น เช่น ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์ (PD Controller) เป็นต้น

$$MV(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

$$MV(t) = K_d T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.11 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

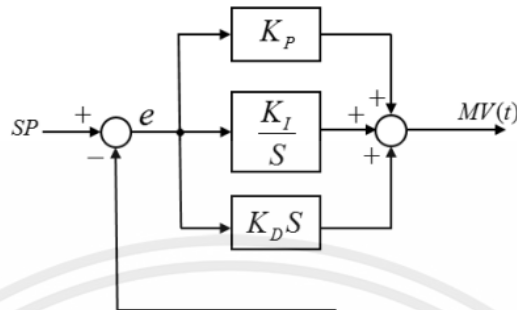
2.5.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

ตัวควบคุมแบบพีไอดี คือ การรวมกันของตัวควบคุมทั้ง 3 ตัว ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (K_p) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (K_i) และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (K_d) ตัวควบคุมแบบพีไอดีสามารถปรับค่าคงที่ K_p , K_i และ K_d หรือปรับ T_i และ T_d ที่อยู่ในหน่วยวินาทีของเทอมที่เวลาคงที่อัตราขยายปริพันธ์และอนุพันธ์ตามลำดับ ซึ่งตัวควบคุมแบบพีไอดีมีการใช้งานอย่างมากในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากตัวควบคุมแบบพีไอดีมีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และควบคุมให้เข้าสู่เป้าหมายอย่างรวดเร็ว กว่าตัวควบคุมแบบพีไอหรือพีดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมายหรือระบบที่ถูกควบคุมมีการเปลี่ยนแปลง และสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MV(t) = K_P e(t) + \frac{K_P}{T_i} \int e(t) dt + K_D T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.12 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองต่าง ๆ เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ K_P , K_I และ K_D ของตัวควบคุมพีไอดี

พารามิเตอร์	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	ค่าพุ่งเกิน (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)	เสถียรภาพ (Stability)
K_P	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง
K_I	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลงมาก	ลดลง
K_D	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	ไม่มีผลทางทฤษฎี	ดีขึ้นถ้า K_D มีค่าน้อย

2.6 การหาค่าพีไอดีโดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Method)

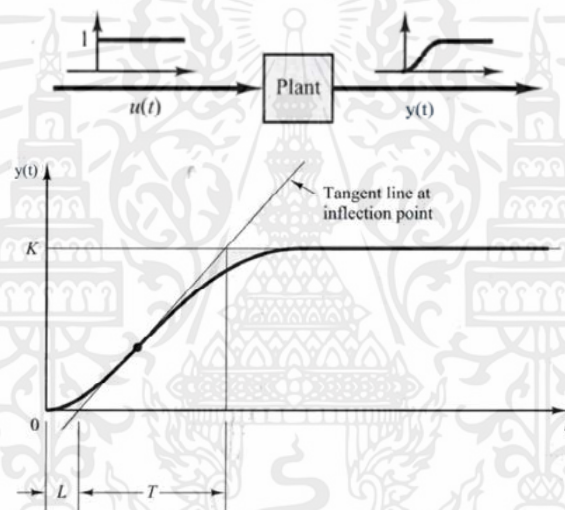
วิธีของซีกเกลอร์และนิโคลส์ นิยมใช้สำหรับการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดี โดยจะสามารถปรับแต่งได้ทั้งในโดเมน s (s -domain) และโดเมน z (z -domain) เพื่อปรับปรุงการตอบสนองของระบบควบคุม และมั่นใจว่าได้ระบบควบคุมที่มีเสถียรภาพและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

สมการของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ใช้กับวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ หรือ การนำค่าอัตราขยายของตัวควบคุมในตารางที่ 2.2 ไปใช้งานนั้นจะต้องอ้างอิงกับสมการที่ 2.24 ดังนี้

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.24)$$

2.6.1 วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method)

การออกแบบวิธีนี้จะดูผลการตอบสนองของระบบต่อฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit step function) ในการปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีนี้จะใช้ระบบเปิด (Open-loop system) โดยเริ่มจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได หลังจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดไปยังกระบวนการแล้วทำการวัดตัวแปรต่าง ๆ จากผลการตอบสนองของกระบวนการ เลือกเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันสูงสุด แล้วจะได้พารามิเตอร์ K , L และ T ออกมา โดยมี $a = \frac{KL}{T}$ จากนั้นคำนวณหา ค่าอัตราขยายต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.13 การตอบสนองของระบบโดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ตารางที่ 2.2 ค่าอัตราขยาย โดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ชนิดของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3L$	-
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

2.6.2 วิธีความถี่ของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Frequency)

วิธีการนี้จะเพิ่ม K_p จาก 0 ไปถึงค่าวิกฤต K_{cr} ที่ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงการสั่นอย่างต่อเนื่อง และการจะทำได้ให้ตั้งค่า $T_i = \infty$ และ $T_d = 0$ ก่อน จากนั้นค่าวิกฤต K_{cr} และ P_{cr} สามารถกำหนดได้โดยใช้วิธี Routh Criterion สูตรการคิดค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบต่างๆ ที่

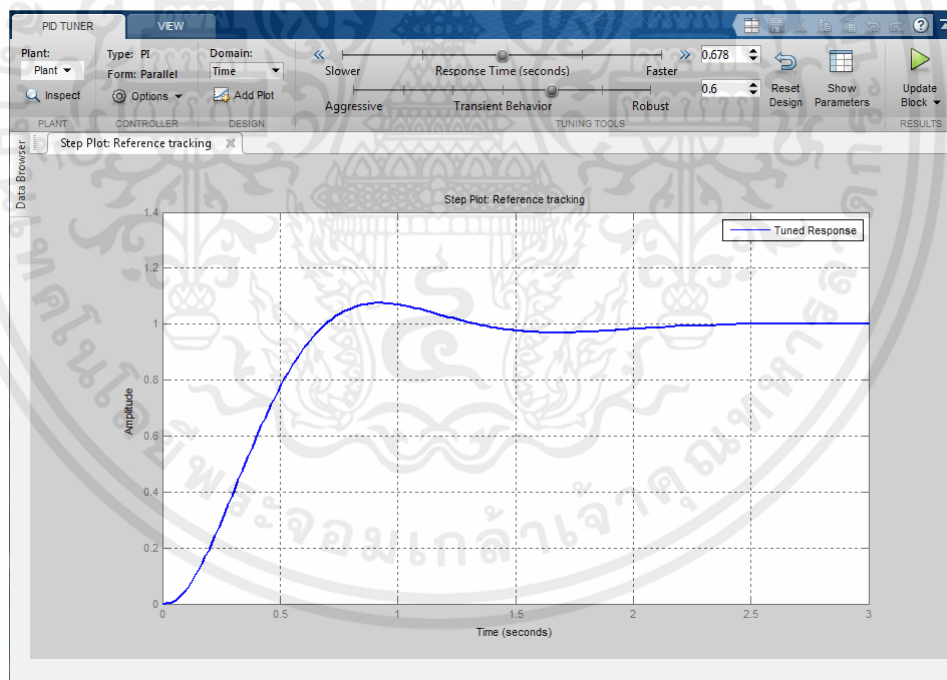
ใช้ในการตั้งค่าพารามิเตอร์ PID จะแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับระบบที่ไม่เสถียร เพื่อให้มีความเสถียรได้

ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราขยาย โดยวิธีความถี่ของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ชนิดของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	-	-
PI	$0.45K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	-
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

2.7 วิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB

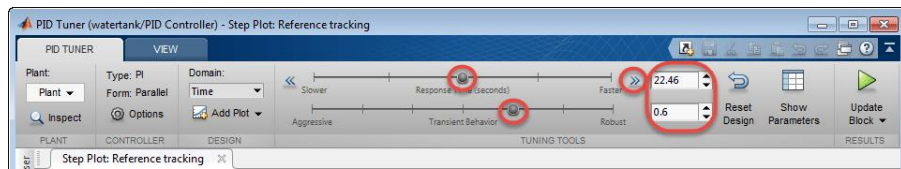
PID Tuner ในโปรแกรม MATLAB สามารถปรับแต่งอัตราขยายของตัวควบคุม PID ให้กับระบบโดยอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบและเกิดความเสถียร และยังสามารถระบุประเภทตัวควบคุมได้เช่น PI, PID การวิเคราะห์จากผลตอบสนองช่วยให้ตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในโดเมนเวลาและความถี่ได้ และสามารถปรับแต่งประสิทธิภาพของตัวควบคุมเพื่อปรับ Loop bandwidth และ Phase margin หรือปรับแก้ไขผลตอบสนองเพื่อเพิ่มเสถียรให้กับตัวควบคุมได้



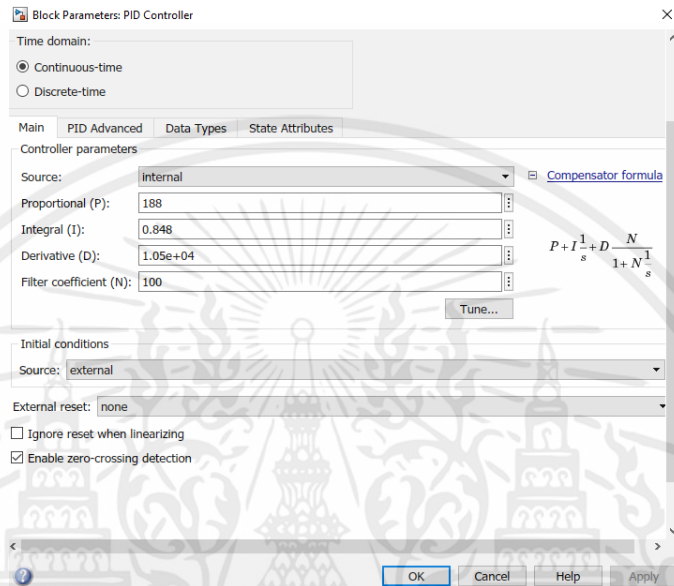
รูปที่ 2.14 หน้าต่างโปรแกรม PID Tuner

ภายใน PID Tuner สามารถปรับเวลาตอบสนอง (Response Time) และพฤติกรรมที่สภาวะชั่วครู่ (Transient Behavior) ของผลตอบสนองได้ดังวงกลมสีแดงในรูปที่ 2.15 เมื่อได้ผลตอบสนองที่ต้องการแล้วโปรแกรมจะบอกค่าอัตราขยาย P I และ D ดังในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

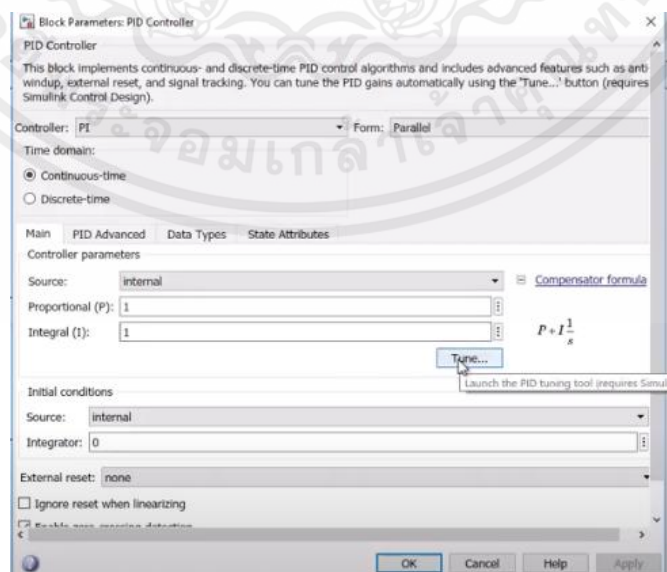


รูปที่ 2.15 การปรับ Response Time และ Transient Behavior



รูปที่ 2.16 อัตราขยาย P I และ D ภายในโปรแกรม

นอกจากนี้ PID Tuner ยังสามารถหาอัตราขยาย P I และ D ให้รับระบบโดยอัตโนมัติโดยการกดปุ่ม Tune ดังรูปที่ 2.17 โปรแกรม PID Tuner จะคำนวณค่า P I และ D ที่ทำให้ระบบเกิดความเสถียรโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.17 ปุ่ม Tune เพื่อให้โปรแกรมหาค่า P I และ D ให้กับระบบโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 คุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได

โดยทั่วไปแล้วการระบุคุณลักษณะการทำงานของระบบควบคุมจะระบุในช่วงของการตอบสนองชั่วขณะต่ออินพุตที่เป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย เนื่องจากสามารถจำลองและคำนวณได้ง่าย ซึ่งจะมีการระบุเป็นตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. Delay time, t_d เวลาหน่วง คือเวลาที่ใช้เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบถึงครึ่งหนึ่งของค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุตที่ป้อน

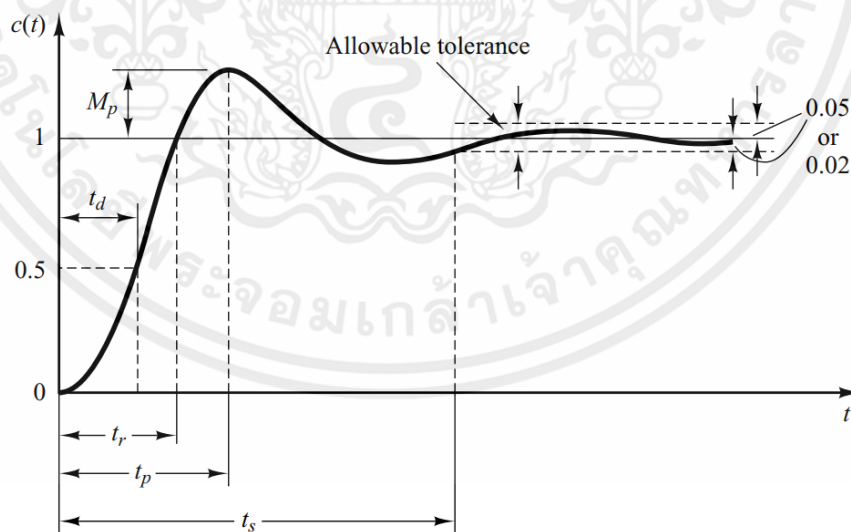
2. Rise time, t_r เวลาขึ้น คือ เวลาที่ใช้เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 90%, 5% ถึง 95% หรือ 0% ถึง 100% ของอินพุต สำหรับระบบที่มีความหน่วงมาก (Overdamp) ปกติจะใช้ที่ 10% ถึง 90%

3. Peak time, t_p เวลาสูงสุด คือ ช่วงเวลาที่ใช้เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบไปถึงจุดสูงสุดแรกของค่าพุ่ง (Overshoot)

4. Maximum (percent) overshoot, M_p เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุด คือ ค่าสูงสุดของกราฟผลตอบสนอง ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงเสถียรภาพของระบบ สามารถระบุได้รูปของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าสูงสุดและอินพุต ดังสมการที่ 2.25

$$\text{Maximum percent overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.25)$$

5. Settling time, t_s เวลาเข้าสู่สมดุล คือ ช่วงเวลาที่ใช้เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบเข้าสู่ช่วงเข้าใกล้ค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุตที่ป้อน ที่ 2% หรือ 5% ของค่าสุดท้าย



รูปที่ 2.18 กราฟผลตอบสนองชั่วขณะของระบบเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

2.9 โปรแกรม LabVIEW

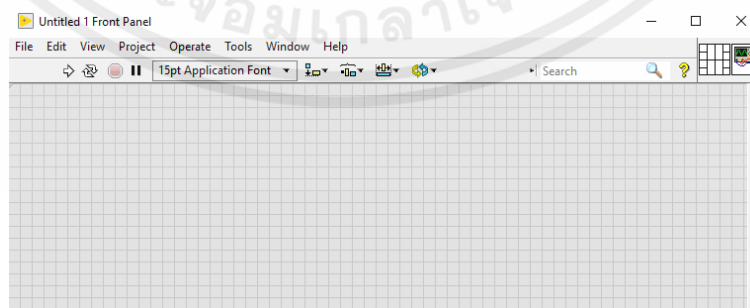
โปรแกรม LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรมหรือเป็นเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม และเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) ไม่ต้องเขียนโปรแกรม หรือคำสั่งใด ๆ ภาษาที่โปรแกรมนี้ใช้คือ ภาษา G (Graphical Language) หรือภาษารูปภาพ การใช้คำสั่งที่เป็นรูปแบบรูปภาพหรือสัญลักษณ์ การใช้งานของโปรแกรมนี้มีความสะดวก ลดเวลาในการเขียนโปรแกรม และใช้งานง่าย โดยเฉพาะงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้ในการวัดและควบคุม หรือในการเก็บข้อมูลจากการทดลอง อุปกรณ์ที่นำมาใช้ร่วมกับ LabVIEW คือ DAQ (Data Acquisition) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์เครื่องมือวัด



รูปที่ 2.19 โปรแกรม LabVIEW

2.9.1 Front Panel

ส่วนของ Front Panel คือ หน้าต่างที่ใช้ในการออกแบบระบบหรือจำลองการทำงานของระบบที่มีเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การออกแบบระบบเปิด-ปิดของถังน้ำ ในส่วนนี้หน้าต่านี้สามารถเพิ่มอุปกรณ์ที่เสมือนจริงได้ ถังน้ำ ปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด เกจแสดงค่า กราฟแสดงผล เป็นต้น นอกจากนี้ส่วนของ Front Panel ยังเอาไว้ใช้ในการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม

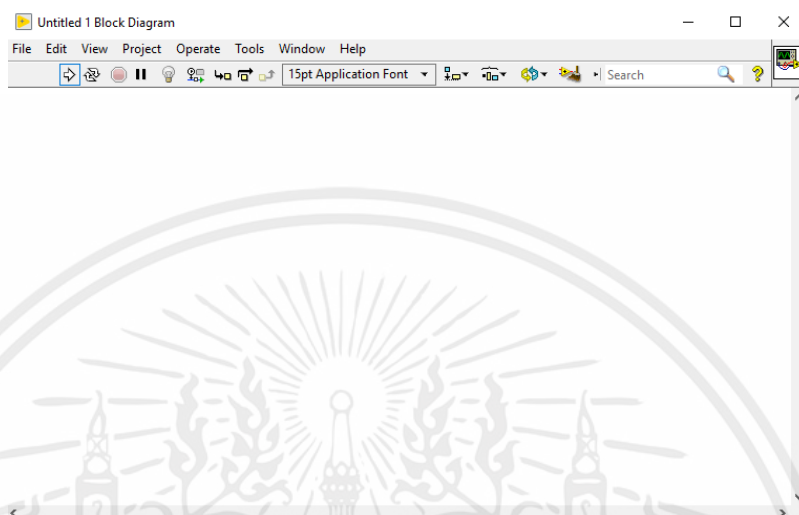


รูปที่ 2.20 Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 Block Diagram

ส่วนของ Block Diagram คือ หน้าต่างที่เอาไว้เขียนโปรแกรมหรือโค้ดต่างๆ การเขียนโปรแกรมเป็นการนำสัญลักษณ์ที่ได้จากการออกแบบระบบจากส่วนของ Front Panel นำสัญลักษณ์ที่ได้มาออกแบบการเขียนให้แต่ละอุปกรณ์เชื่อมต่อกัน



รูปที่ 2.21 Block Diagram

2.10 อุปกรณ์อื่นๆ

2.10.1 อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)

อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความระหว่างสองจุด เช่น การวัดความดันเทียบกับบรรยากาศ และแปลงสัญญาณที่ได้รับมาให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณมาตรฐาน เช่น กระแสไฟฟ้า 4-20 mA และ แรงดันไฟฟ้า 1-5 VDC

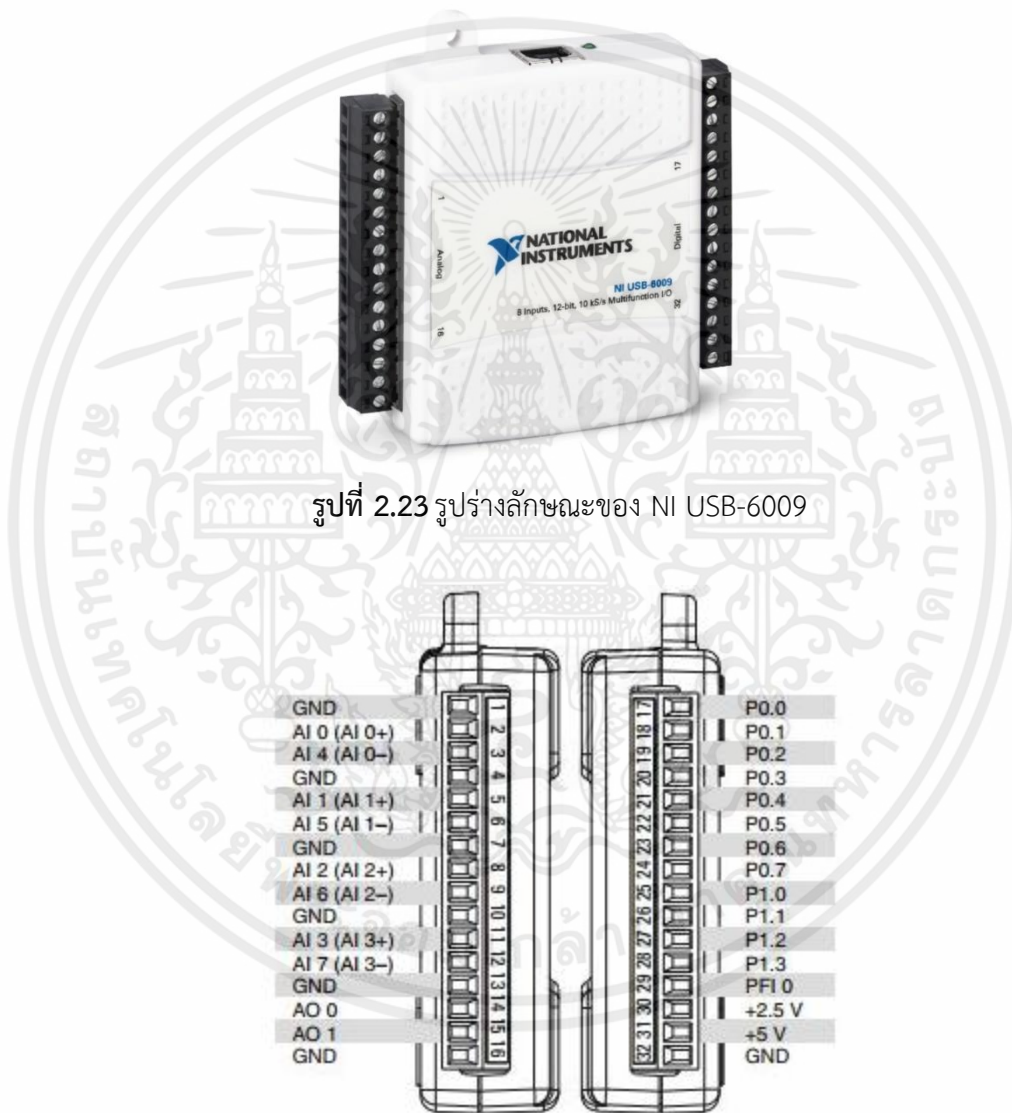


รูปที่ 2.22 Differential Pressure Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 DAQ NI USB-6009

ระบบ DAQ (Data acquisition) คือ ระบบที่เก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริง ที่มาจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ การทดสอบทางวิศวกรรมหรือ จากการจำลองระบบเพื่อเก็บข้อมูล DAQ NI USB เป็น Data acquisition ของบริษัท National Instrument ที่มีการเชื่อมต่อของพอร์ทเป็นแบบ USB ใช้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เชื่อมต่อระหว่างระบบจริงหรือระบบจำลองเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถอ่านข้อมูลและบันทึกข้อมูลได้ลักษณะเวลาจริง (Real Time) และใช้ประยุกต์ได้กับหลาย ๆ โปรแกรม เช่น โปรแกรม LabVIEW เป็นต้น



รูปที่ 2.23 รูปร่างลักษณะของ NI USB-6009

รูปที่ 2.24 Port ของ NI USB-6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 Current to Pneumatic Converter

Current-to- Pneumatic หรือ I/P Converter คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงค่าจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณทางด้านเข้า เช่น ค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ไปเป็นค่าสัญญาณความดันอากาศทางด้านออก 3-15 psig จากความสัมพันธ์ของสัญญาณทั้งสองค่านี้ จะเปรียบได้ว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 mA ที่รับเข้ามาเมื่อแปลงค่าไปด้านขาออกจะได้ค่าความดันอากาศที่ 3 psig เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไปที่ 20 mA ค่าความดันอากาศขาออกจะได้ 15 psig



รูปที่ 2.25 Differential Pressure Transmitter

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

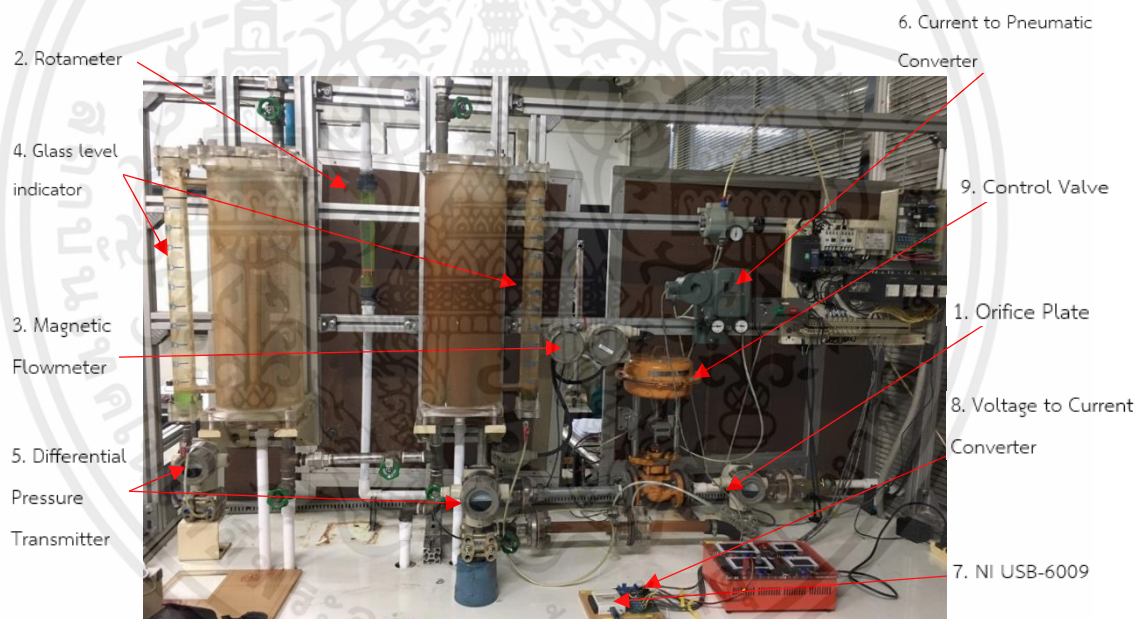
Pongsakorn Somkane นำเสนอการระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยใช้วิธีปริพันธ์และใช้ฟังก์ชัน ARMAX ในโปรแกรม MATLAB โดยระบบในงานวิจัยนี้เป็นระบบควบคุมระดับน้ำแท้งค์คู่แบบไม่ปฏิสัมพันธ์กัน ทำการทดลองเปิดวาล์วที่ 30% 40% 50% และ 60% แล้วบันทึกค่าไว้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทางกายภาพ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทางกายภาพของการเปิดวาล์วที่ระดับต่างๆ แล้ว จึงนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบกับโมเดลใดที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด จากนั้นนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

บทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองการควบคุมระดับถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์ ที่มีโปรแกรม LabVIEW และ DAQ NI USB-6009 ใช้ในการสื่อสารกันรวมไปถึงการควบคุมระดับของเหลว วิธีการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์มี 2 วิธี คือ การระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีแบบปริพันธ์ (Integral) และวิธีการระบุอัตลักษณ์ของระบบใช้ Toolbox ใน MATLAB การออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งมี 2 วิธี คือ วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method) และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB สุดท้ายคือ การจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink

3.1 แบบจำลองการควบคุมระดับถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์ควบคุม

จากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดระดับ และชุดอุปกรณ์ควบคุม มีดังนี้

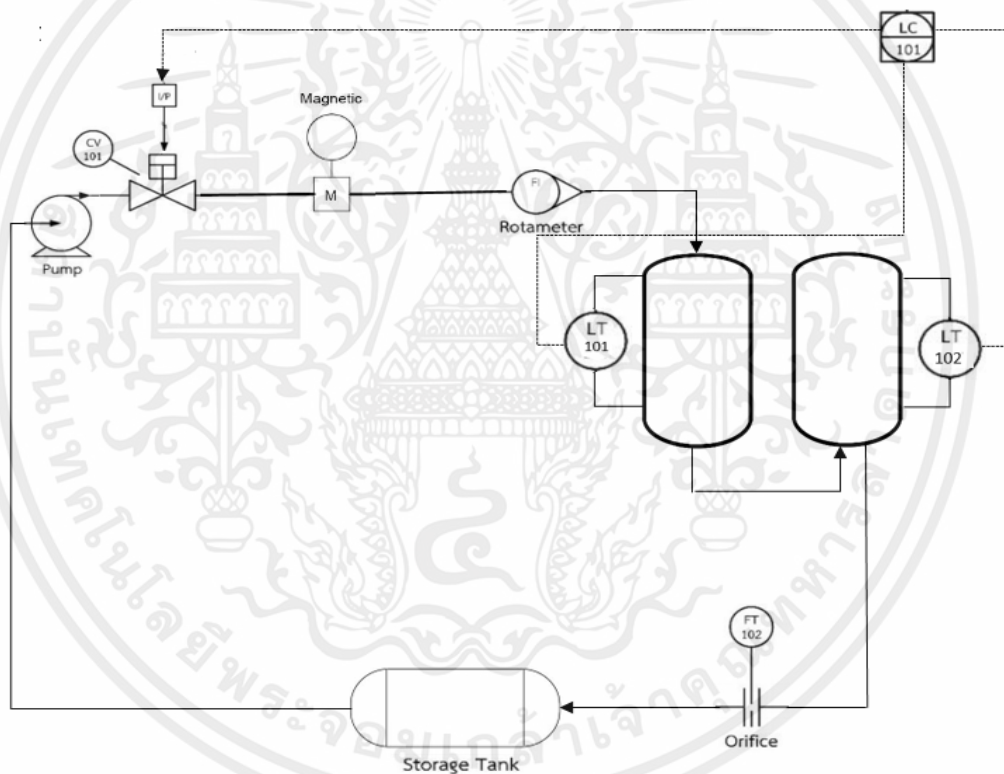
1. Orifice Plate
2. Rotameter
3. Magnetic Flowmeter
4. Glass level indicator
5. Differential Pressure Transmitter
6. Current to Pneumatic Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. NI USB-6009
8. Voltage to Current Converter
9. Control Valve

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลจะใช้ Magnetic Flowmeter และ Rotameter วัดอัตราไหลขาเข้า จะใช้ Differential Pressure Transmitter ที่เชื่อมต่อกับ Orifice Plate เพื่อใช้วัดอัตราการไหลขาออก ส่วนอุปกรณ์วัดระดับจะใช้ Differential Pressure Transmitter เชื่อมต่อกับ Glass level Indicator ที่อยู่ข้างถังน้ำ ในส่วนของชุดอุปกรณ์ควบคุมนั้น จะใช้ NI USB-6009 เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การวัด Control Valve, Current to Pneumatic Converter, Voltage to Current Converter และ โปรแกรม LabVIEW

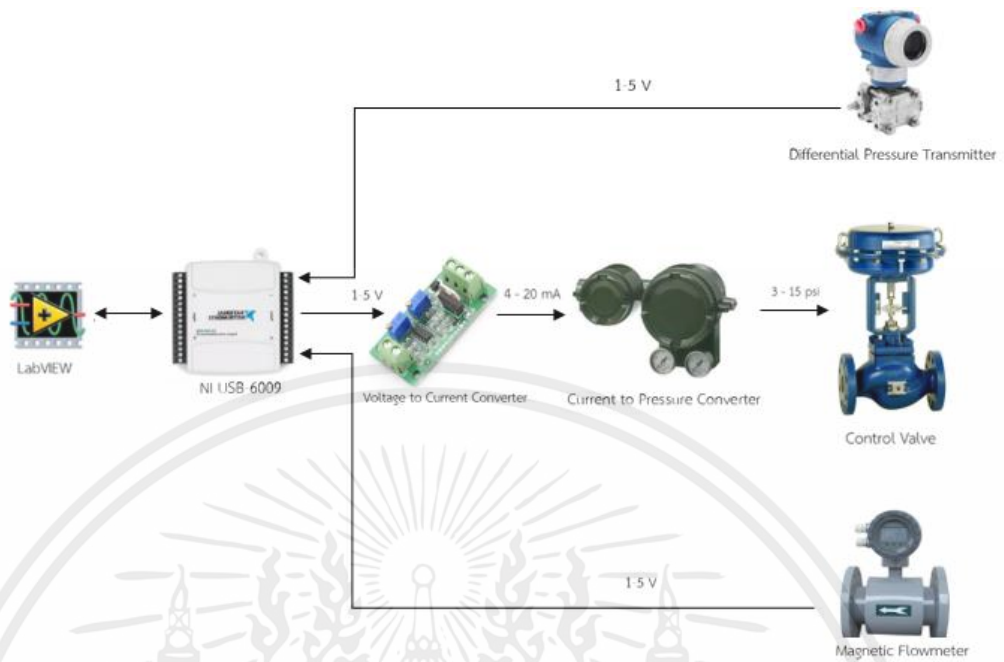
รูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและกระบวนการควบคุมจะแสดงอยู่ในรูปแผนภาพ P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) ดังนี้



รูปที่ 3.2 P&ID ของการควบคุมระดับน้ำ

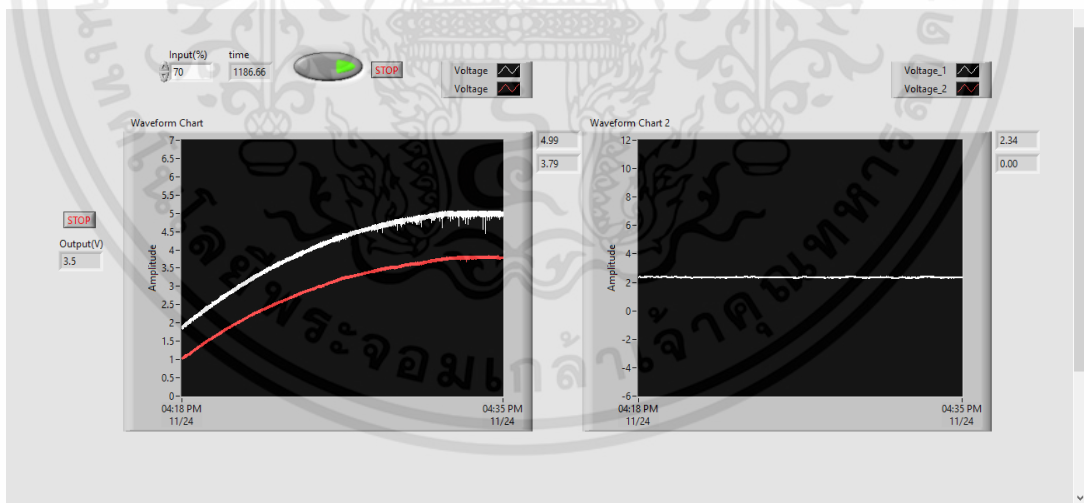
ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ ใช้เก็บค่า และเป็นตัวควบคุมพีไอดีโดยจะใช้ NI USB 6009 เป็นตัวกลางในการรับ แรงดัน 1-5 V จาก Differential Pressure Transmitter และ Magnetic Flowmeter และจะใช้ NI USB 6009 เป็นตัวกลางในการส่งแรงดัน 1-5 V ไปควบคุม Control Valve โดยแรงดันจะถูกแปลงเป็นกระแส 4-20 mA ผ่าน Voltage to Current Converter และแปลงจากกระแสเป็นนิวเมติกส์สัญญาณลม 3-15 psi ผ่าน Current to Pneumatic Converter เพื่อที่จะไปควบคุม Control Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



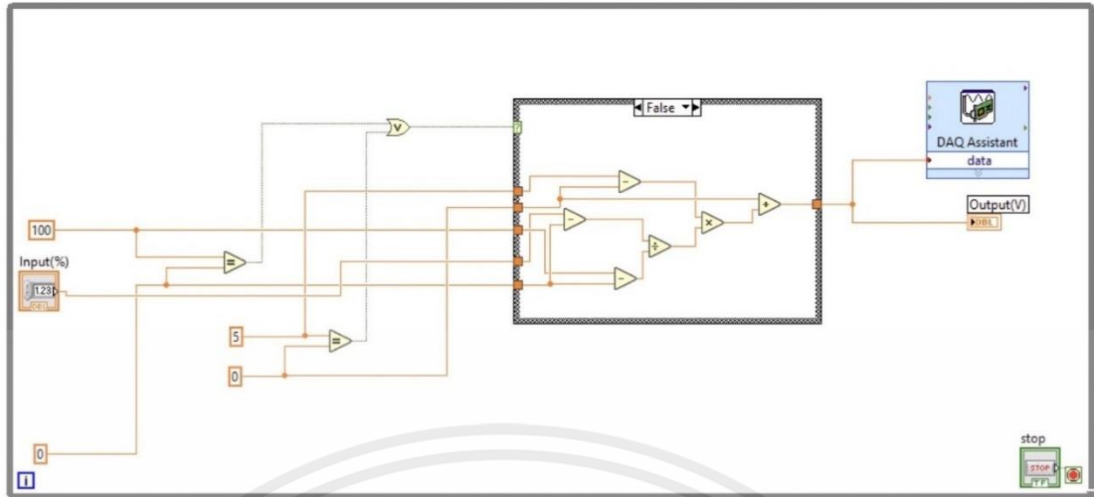
รูปที่ 3.3 แผนผังการติดต่อระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์

3.2 การออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อเก็บค่าและบันทึกข้อมูล

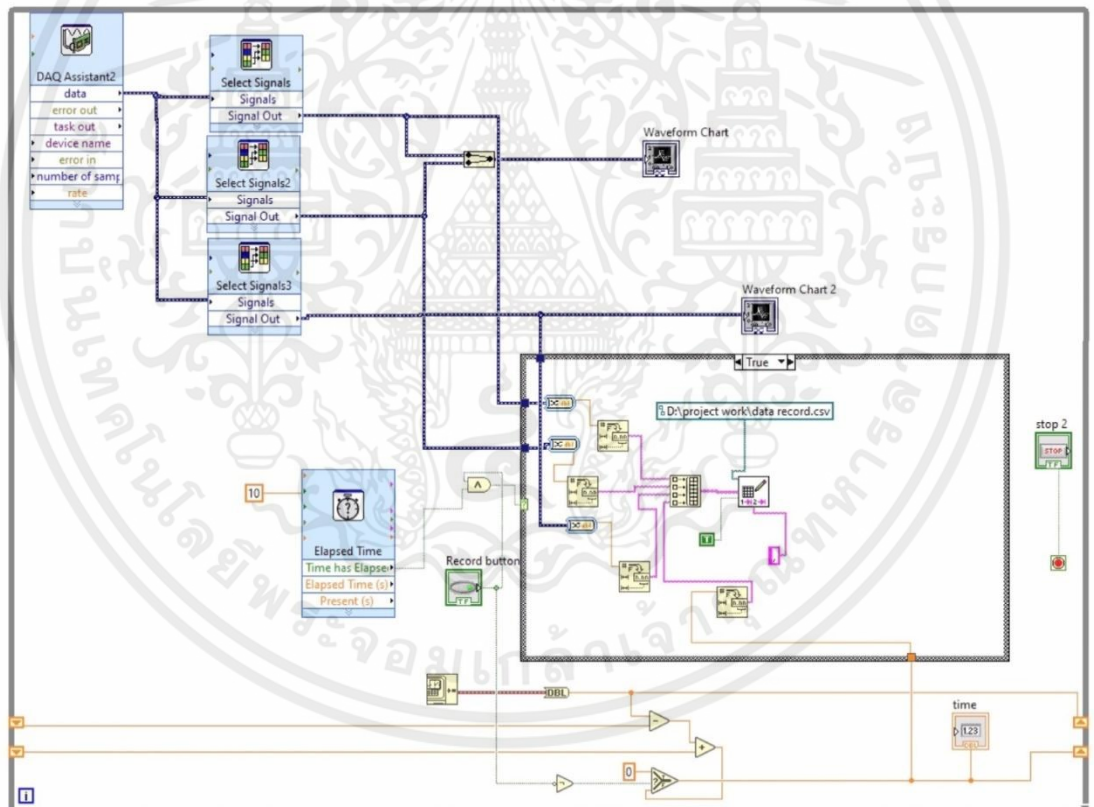


รูปที่ 3.4 Front Panel แสดงผลการทำงานของโปรแกรม และสั่งการโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Block Diagram ส่วน Output ในการเปิด/ปิด วาล์วควบคุม



รูปที่ 3.6 Block Diagram ส่วน Input ซึ่งรับและบันทึกค่าที่ได้จากการวัดระดับ และอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อเก็บค่า และบันทึกค่าความสูงของทั้งสองถัง และอัตราการไหลจากเครื่องมือวัด Magnetic Flowmeter โดยเริ่มด้วย รูปที่ 3.4 ส่วนของ Front Panel เป็นส่วนสำหรับแสดงผลการทำงานของโปรแกรม และสามารถสั่งการโปรแกรม โปรแกรมที่เราออกแบบมีส่วนที่ป้อนค่าร้อยละในการเปิดวาล์วควบคุม และกราฟเพื่อแสดงค่าโวลต์ที่ได้จากการวัดระดับของถังทั้งสอง และอัตราการไหล รูปที่ 3.5 ส่วนของ Block Diagram เป็นส่วนของโปรแกรม Output ซึ่งเป็นคำสั่งในการเปิด-วาล์ว ที่เปลี่ยนจากการคำสั่งค่าที่เป็นโวลต์ไปเป็นค่าร้อยละในการเปิดวาล์ว คือการจาก 0-5 V เป็น 0-100 % ต่อมารูปที่ 3.6 เป็นส่วนของโปรแกรม Input ซึ่งรับค่าโวลต์จากการวัดระดับ และอัตราการไหล ในโปรแกรมนี้ยังมีคำสั่งในการบันทึกค่าแบบเรียลไทม์และนำไปจัดเก็บในโปรแกรม Microsoft Excel และในโปรแกรมนี้ทำการแปลงค่าจากการวัดที่เป็นโวลต์ให้เป็น ความสูง และอัตราการไหล ดังรูปที่ 3.7

1	Level 1 (V)	Level 2 (V)	Flow (V)	Time (s)	Level 1 (%)	Level 2 (%)	Flow (l/hr)
2	0.833505	0.85032	1.730975	9.119764	0.083452381	0.37002381	239.0135042
3	0.840508	0.836318	2.168341	19.256742	0.166738095	0.036642857	382.0230193
4	1.044235	0.846501	2.341505	29.39335	5.017380952	0.279095238	438.6440179
5	1.142278	0.842683	2.419174	39.534544	7.351738095	0.188190476	464.040153
6	1.201486	0.840137	2.437636	49.66929	8.761452381	0.127571429	470.0768401
7	1.258147	0.84141	2.439546	59.806494	10.11052381	0.157880952	470.70137
8	1.324358	0.838227	2.452915	69.940519	11.68697619	0.082095238	475.0727528
9	1.368287	0.842046	2.445912	80.079066	12.73290476	0.17302381	472.7829186
10	1.417945	0.844592	2.451005	90.214769	13.9152381	0.233642857	474.4482229
11	1.456143	0.843956	2.440183	100.353964	14.82471429	0.2185	470.9096557
12	1.514715	0.842683	2.443366	110.49525	16.21928571	0.188190476	471.95043
13	1.551003	0.843956	2.446549	120.639515	17.08328571	0.2185	472.9912043
14	1.587929	0.84141	2.439546	130.779513	17.96247619	0.157880952	470.70137
15	1.640134	0.843956	2.443366	140.918134	19.20545238	0.2185	471.95043
16	1.684699	0.843956	2.459282	151.055498	20.26652381	0.2185	477.1546284
17	1.720351	0.847138	2.455462	161.192495	21.11538095	0.294261905	475.9055685
18	1.757276	0.865595	2.445276	171.331693	21.99454762	0.733714286	472.5749599
19	1.791655	0.879598	2.42745	181.470749	22.81309524	1.067119048	466.7462316
20	1.818394	0.892327	2.441456	191.625157	23.4497381	1.370190476	471.3259
199	2.819836	1.746462	2.36697	2006.580943	47.29359524	21.7067381	446.9705392
200	2.825565	1.747735	2.383522	2016.717777	47.43	21.73704762	452.3826963
201	2.821109	1.74328	2.401348	2026.854975	47.32390476	21.63097619	458.2114246
202	2.821109	1.735006	2.419174	2036.994337	47.32390476	21.43397619	464.040153
203	2.821109	1.742643	2.428087	2047.136505	47.32390476	21.61580952	466.9545172
204	2.826202	1.744553	2.400712	2057.273498	47.44516667	21.66128571	458.003466
205	2.818562	1.74137	2.426813	2067.434794	47.2632619	21.5855	466.5379459
206	2.819199	1.747098	2.417264	2077.569952	47.27842857	21.72188095	463.4156231
207	2.805193	1.742643	2.422994	2087.705842	46.94495238	21.61580952	465.289213
208	2.823019	1.754099	2.384796	2097.844862	47.36938095	21.88857143	452.7992676
209	2.820472	1.740734	2.356784	2107.988229	47.3087381	21.57035714	443.6399307

รูปที่ 3.7 ข้อมูลจากการเก็บค่าต่าง ๆ ที่บันทึกใน Excel

3.3 การระบุอัตลักษณ์ของระบบ

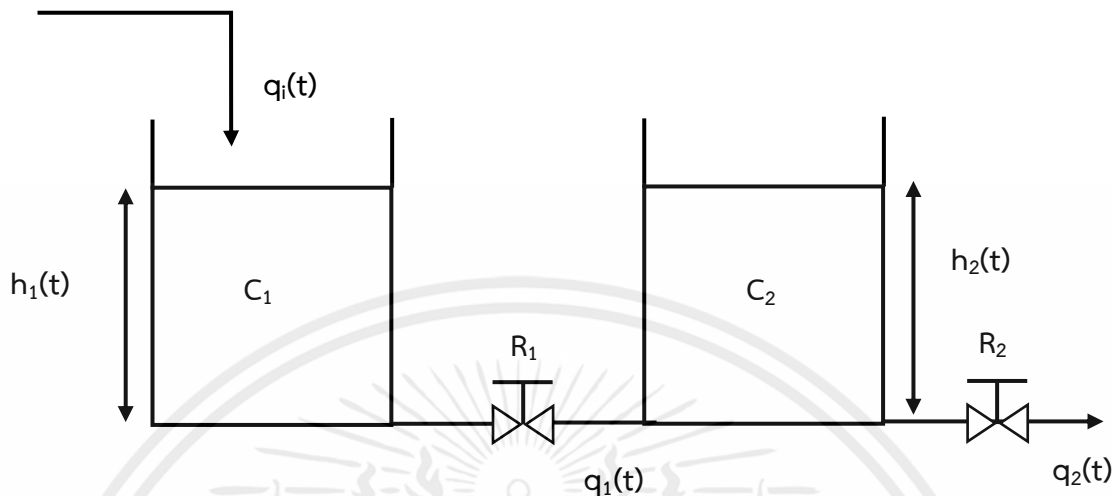
การระบุอัตลักษณ์ของระบบมีสองวิธี ได้แก่

1. การระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์
2. การระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์

พิจารณากระบวนการควบคุมของเหลว ที่ถึงทั้งสองต่อแบบปฏิสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ถังทั้งสองต่อแบบปฏิสัมพันธ์กัน

จากรูปที่ 3.8 สามารถเขียนสมการแบร์นูลีได้ดังนี้
ถังที่ 1:

$$C_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = q_i(t) - q_1(t) \quad (3.1)$$

ถังที่ 2:

$$C_2 \frac{dh_2(t)}{dt} = q_1(t) - q_o(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ C_1 คือ ความจุของถังที่ 1

C_2 คือ ความจุของถังที่ 2

$h_1(t)$ คือ ระดับของเหลวของถังที่ 1

$h_2(t)$ คือ ระดับของเหลวของถังที่ 2

$q_i(t)$ คือ อัตราการไหลของของเหลวก่อนเข้าถังที่ 1

$q_1(t)$ คือ อัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2

$q_o(t)$ คือ อัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากถังที่ 2

ค่าความต้านทานการไหลของของเหลวในท่อที่ไหลผ่านวาล์วสามารถนิยามได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวระหว่างถังที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล เขียนสมการได้ดังนี้

$$q_1(t) = \frac{h_1(t) - h_2(t)}{R_1} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_o(t) = \frac{h_2(t)}{R_2} \quad (3.4)$$

เมื่อ R_1 คือค่าความต้านทานการไหลของวาล์วระหว่างถังที่ 1 กับถังที่ 2

R_2 คือค่าความต้านทานการไหลของวาล์วขาออกจากถังที่ 2

พิจารณาถังที่ 1 นำสมการที่ 3.3 แทนลงในสมการที่ 3.1 จะได้

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{1}{C_1} q_i(t) - \frac{1}{R_1 C_1} (h_1(t) - h_2(t)) \quad (3.5)$$

สมการที่ได้จะเป็นโมเดลทางกายภาพของถังที่ 1 ที่เป็นโมเดลเชิงเส้น โดยมีอินพุตคือ $q_i(t)$ และเอาต์พุต คือ $\frac{dh_1(t)}{dt}$

กำหนดให้ $a_1 = \frac{1}{C_1}, a_2 = \frac{1}{R_1 C_1}$

จัดรูปสมการที่ 3.5 ใหม่ จะได้

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = a_1 q_i(t) - a_2 (h_1(t) - h_2(t)) \quad (3.6)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.6 เทียบกับเวลา จะได้

$$h_1(t) = h_1(0) + a_1 \int_0^t q_i(t) dt - a_2 \left(\int_0^t h_1(t) dt - \int_0^t h_2(t) dt \right) \quad (3.7)$$

พิจารณาถังที่ 2 นำสมการที่ 3.3 และ 3.4 แทนลงในสมการที่ 3.2 จะได้

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{1}{R_1 C_2} h_1(t) - \frac{1}{C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) h_2(t) \quad (3.8)$$

กำหนดให้ $b_1 = \frac{1}{R_1 C_2}, b_2 = \frac{1}{C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

จัดรูปสมการที่ 3.8 ใหม่ จะได้

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = b_1 h_1(t) - b_2 h_2(t) \quad (3.9)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.9 เทียบกับเวลา จะได้

$$h_2(t) = h_2(0) + b_1 \int_0^t h_1(t) dt - b_2 \int_0^t h_2(t) dt \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ จะต้องทราบค่าคงที่ a_1 , a_2 , b_1 , b_2 และ $h_1(0)$, $h_2(0)$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น ดังนั้นจะทำการแก้สมการเพื่อหาค่าคงที่เหล่านี้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) เริ่มจากการอินทิเกรตสมการที่ 3.7 และ 3.10 ด้วยวิธีการหาปริพันธ์ด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Rule) แล้วนำค่าตัวแปรที่เก็บมาจากระบบจริงคือ $h_1(t)$, $h_2(t)$, $q_i(t)$, $q_o(t)$ ในช่วงเวลา $t = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ มาเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์จะได้ดังนี้

$$Ax = b \quad (3.11)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \int_0^{t_1} q_i(t)dt & -\int_0^{t_1} h_1(t)dt + \int_0^{t_1} h_2(t)dt & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \int_0^{t_n} q_i(t)dt & -\int_0^{t_n} h_1(t)dt + \int_0^{t_n} h_2(t)dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \int_0^{t_1} h_1(t)dt & -\int_0^{t_1} h_2(t)dt \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \int_0^{t_n} h_1(t)dt & -\int_0^{t_n} h_2(t)dt \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$x = \begin{bmatrix} h_1(0) \\ a_1 \\ a_2 \\ h_2(0) \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

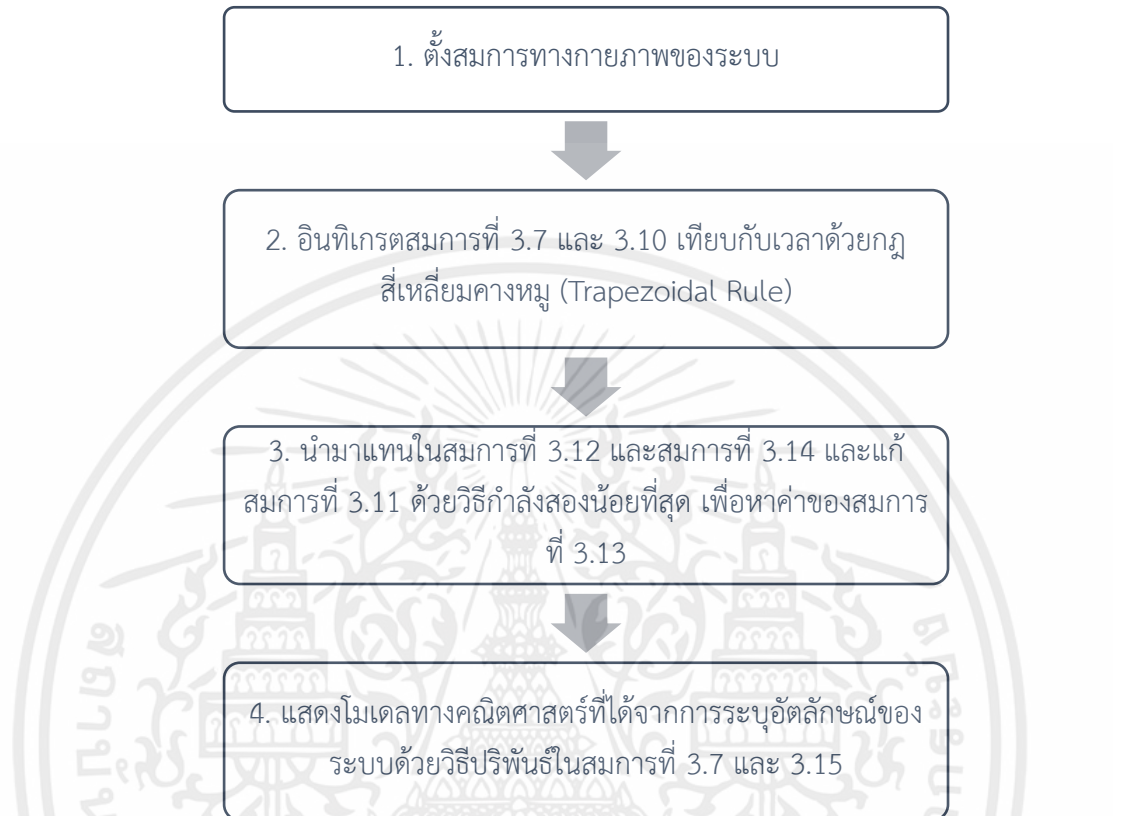
$$b = \begin{bmatrix} h_1(t_1) \\ \vdots \\ h_1(t_n) \\ h_2(t_1) \\ \vdots \\ h_2(t_n) \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

สำหรับการวัดระดับของเหลวถึงที่ 2 พบว่าช่วงแรกยังไม่สามารถวัดระดับได้ เนื่องจากของเหลวจากถึงที่ 1 ยังมีไม่มากพอที่จะทำให้ของเหลวไหลไปสู่ถึงที่ 2 ดังนั้นจึงทำการระบุสัญลักษณ์ของระบบโดยใช้ฟังก์ชันแบบแบ่งช่วง เนื่องจากในช่วงแรกหรือช่วงที่วัดระดับแล้วได้ 0% มีลักษณะต่างกับช่วงที่ของเหลวได้เริ่มทำการไหลเข้าสู่ถึงที่ 2 แล้ว จะได้โมเดลทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 3.15

$$h_2(t) = \begin{cases} P & , 0 \leq t \leq t_1 \\ h_2(t) = h_2(0) + b_1 \int_{t_1}^{t_2} h_1(t)dt - b_2 \int_{t_1}^{t_2} h_2(t)dt & , t_1 < t \leq t_2 \end{cases} \quad (3.15)$$

เมื่อ P คือค่าเริ่มต้นเมื่อของเหลวยังไม่ไหลเข้าถึงที่ 2

เมื่อทำการแก้สมการด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะได้คำตอบของสมการ คือ เมริกซ์ x แล้วจะได้โมเดลทางคณิตศาสตร์อย่างสมบูรณ์ของระบบนี้สามารถเขียนขั้นตอนการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ได้ตามแผนผังดังรูปนี้



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์

3.3.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการวัดและเก็บค่าระดับของของเหลวถึงที่ 1 และถึงที่ 2 และค่าอัตราการไหลของของเหลวขาเข้าถึงที่ 1 จากระบบซึ่งทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70% จากระบบจนกว่าระบบจะเข้าสู่เสถียรภาพผ่านทางโปรแกรม LabVIEW ค่าจะถูกเก็บลงใน Microsoft Excel ในรูปตารางแล้วนำค่าเหล่านั้นเข้าสู่ MATLAB เพื่อทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์ตามขั้นตอนรูปที่ 3.9

3.3.2 การระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB

การระบุอัตลักษณ์ของระบบ โดยทำการสร้างโมเดลแบบ Black Box เนื่องจากไม่ทราบค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของระบบเลยและไม่มีทฤษฎีรองรับ ทำให้การหาโมเดลด้วยวิธีนี้ต้องสุ่มค่าพารามิเตอร์โดยใช้ Polynomial Models และใช้วิธี ARMAX (Autoregressive Moving Average with Extra Input) โดยสมการของ ARMAX ดังสมการที่ 3.16

$$y(t) + a_1(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1u(t-n_k) + \dots + b_{n_b}(t-n_k - n_b + 1) + c_1e(t-1) + \dots + b_{n_c}e(t-n_c) + e(t) \quad (3.16)$$

สามารถเขียนสมการใหม่ ดังสมการที่ 3.17

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + C(q)e(t) \quad (3.17)$$

เมื่อ $y(t)$ คือ Output

$u(t)$ คือ Input

$e(t)$ คือ ค่าสัญญาณรบกวน (Disturbance)

n_a คือ จำนวนโพล

n_b คือ จำนวนซีโรบวก 1

n_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ C

n_k คือ จำนวนค่าของ Input ช่วง Dead Time

ค่าพารามิเตอร์ n_a , n_b , n_c และ n_k คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการสุ่ม ส่วนของค่าพารามิเตอร์ n_a , n_b และ n_c เป็นค่าสิ่งของโมเดล ARMAX ส่วน n_k เป็นค่าความล่าช้า และ q เป็นตัวดำเนินการหน่วงเวลา เมื่อทำการระบุอัตลักษณ์ของระบบแล้ว จะได้คำตอบเป็น $A(q)$, $B(q)$ และ $C(q)$ ดังสมการต่อไปนี้

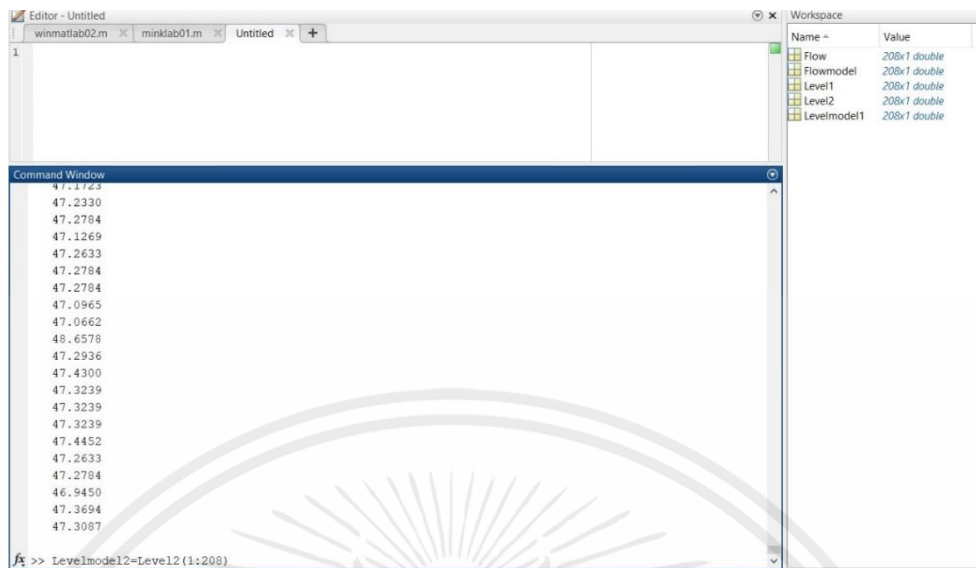
$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_a}q^{-n_a} \quad (3.18)$$

$$B(q) = b_1 + b_2q^{-1} + \dots + b_{n_b}q^{-n_b+1} \quad (3.19)$$

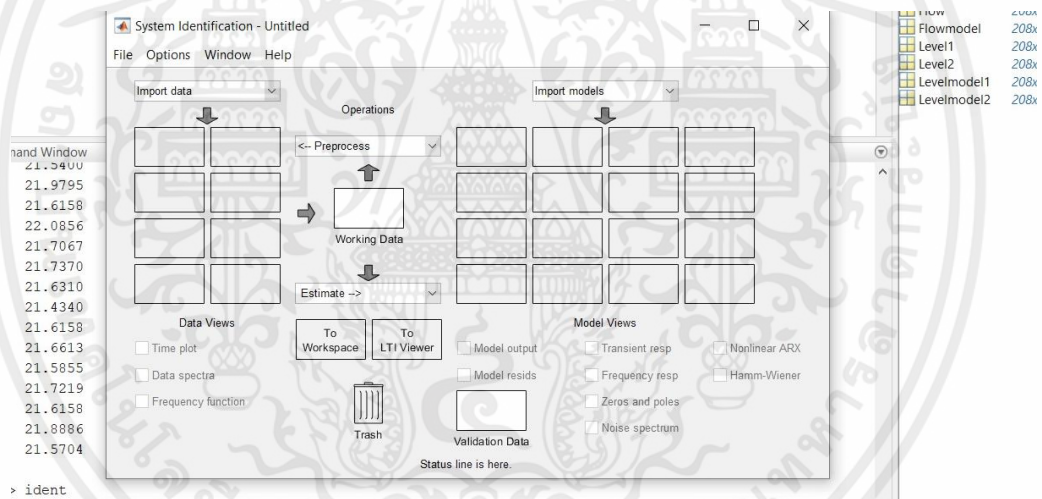
$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + a_{n_c}q^{-n_c} \quad (3.20)$$

3.3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเก็บค่าของระดับที่เป็นร้อยละของทั้งสองถัง และค่าอัตราการไหล ที่บันทึกไว้ใน Microsoft Excel ข้างเข้ามาใน Command Window ทีละค่า จะได้ทั้งหมดสามค่า จากนั้นนำชื่อของแต่ละค่าทำการสร้างชื่อใหม่เพื่อนำไปใช้ใน Toolbox ดังรูปที่ 3.10 เมื่อสร้างเสร็จ พิมพ์ ident แล้วกด Enter จะแสดง Toolbox System Identification ใน MATLAB ดังรูปที่ 3.11



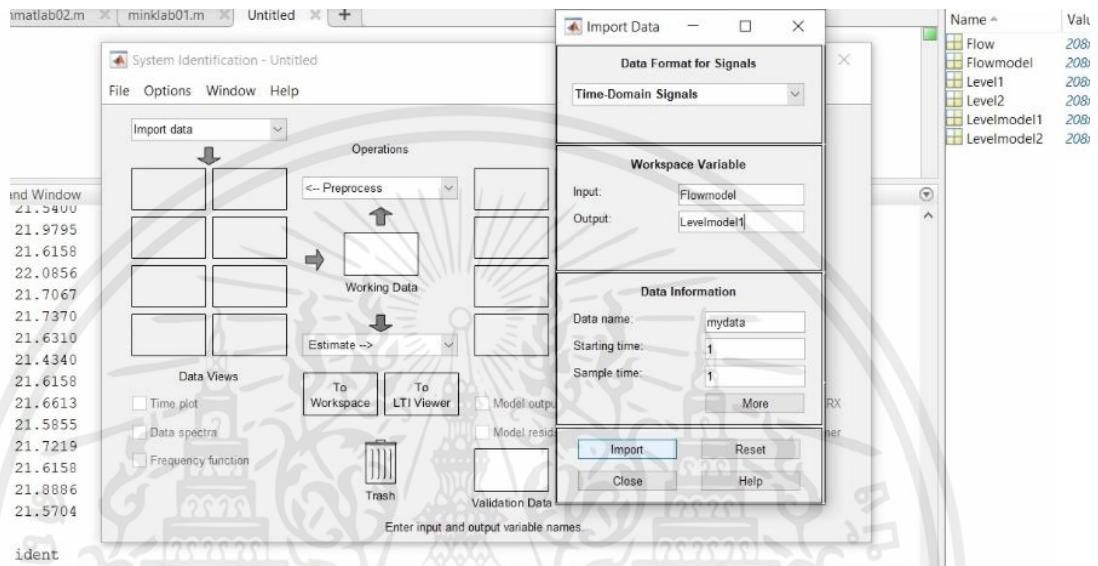
รูปที่ 3.10 นำข้อมูลเข้าใน Command Window ใน MATLAB



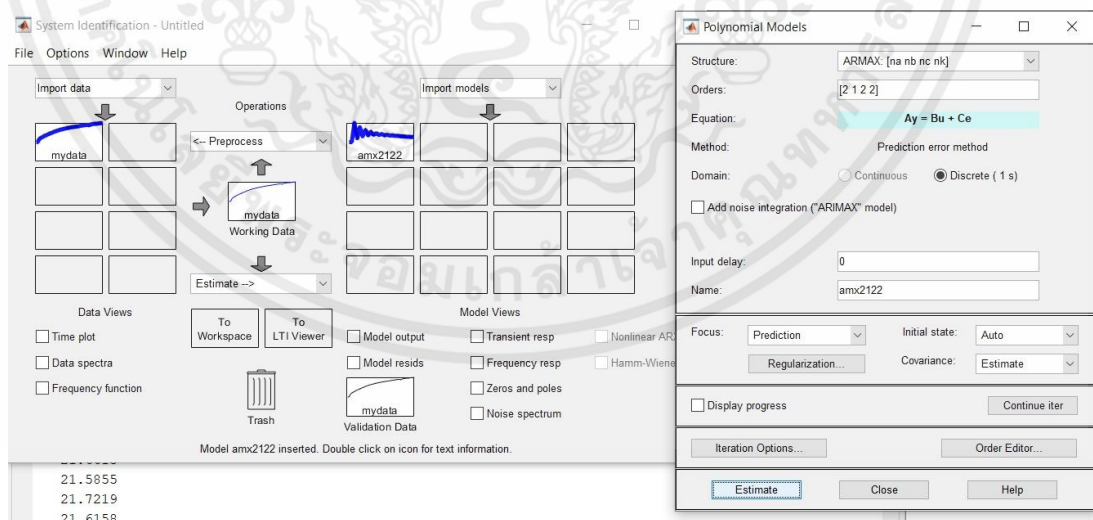
รูปที่ 3.11 Toolbox System Identification ใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเลือก Import Data ในรูปแบบ Time Domain Data แล้วทำการ Import Data ส่วน Input คือ Flow และ Output คือ Level ดังรูปที่ 3.12 จากนั้น เลือก Estimate Polynomial Models เพื่อสร้างแบบจำลองพหุนาม แล้วเลือกส่วนของ Structure ให้เป็น ARMAX และในส่วนของ Orders ทำการปรับค่าพารามิเตอร์แบบสุ่ม จากนั้น กด Estimate ดังรูปที่ 3.13 ในขั้นตอนการสุ่มนั้นจะมีค่าเริ่มต้นและหากต้องการปรับค่าสามารถป้อนได้เลย ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการหาค่าพารามิเตอร์เมื่อทำตาม รูปที่ 3.13 กราฟแสดงผลและค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 3.12 Import Data ในรูปแบบ Time Domain Data



รูปที่ 3.13 เลือก ARMAX แล้วทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์

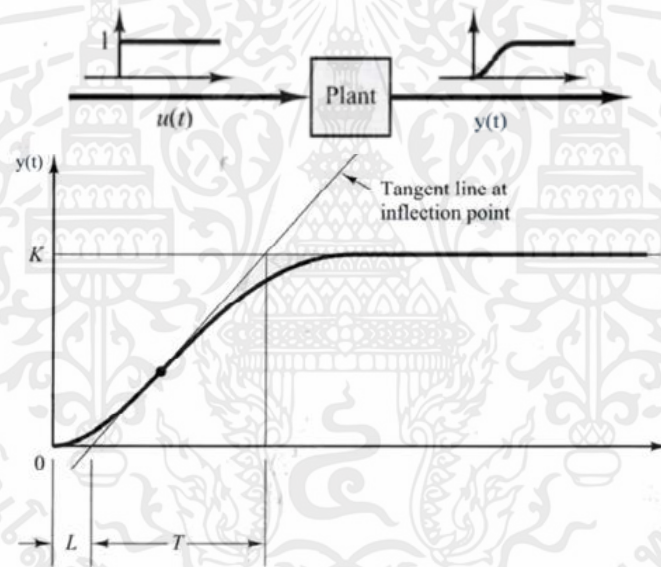
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดี

ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอดี สามารถออกแบบได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method) และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB

3.4.1 วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method)

การออกแบบวิธีนี้จะดูผลการตอบสนองของระบบต่อฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit step function) ในการปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมด้วยวิธีนี้จะใช้ระบบเปิด (Open-loop system) โดยเริ่มจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได หลังจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดไปยังกระบวนการแล้วทำการวัดตัวแปรต่าง ๆ จากผลการตอบสนองของกระบวนการ เลือกเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันสูงสุด แล้วจะได้พารามิเตอร์ K , L และ T ออกมา โดยมี $a = \frac{KL}{T}$ จากนั้นคำนวณหาค่าอัตราขยายต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.14 การตอบสนองของระบบโดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ตารางที่ 3.1 ค่าอัตราขยาย โดยใช้วิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ชนิดของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3L$	-
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

ขั้นตอนแรก การคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอน หรือ Transfer Function ของระบบ การศึกษา นี้มุ่งเน้นไปในการควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของถังที่ 2 จะอยู่ในรูปแบบของอัตราการไหลของของเหลวขาเข้าสู่ระบบเป็นอินพุต และระดับของของเหลวในถังที่ 2 เป็นเอาต์พุต

จากการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ สมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.9 นำสมการทั้งสองทำการแปลงลาปลาซ ภายใต้เงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ จะได้

$$sH_1(s) = a_1Q_i(s) - a_2(H_1(s) - H_2(s)) \quad (3.21)$$

$$sH_2(s) = b_1H_1(s) - b_2H_2(s) \quad (3.22)$$

จัดรูปสมการที่ 3.21

$$H_1(s) = \frac{a_1Q_i(s) + a_2H_2(s)}{s + a_2} \quad (3.23)$$

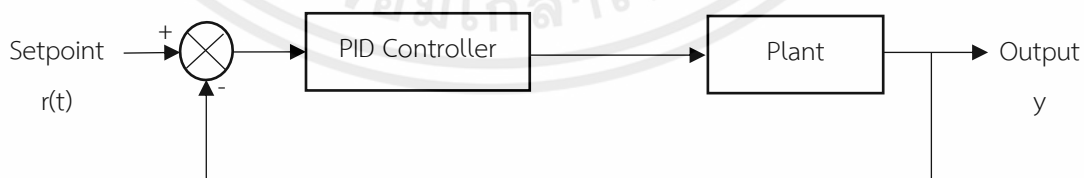
นำสมการที่ 3.23 แทนลงในสมการที่ 3.22

$$sH_2(s) = b_1 \left(\frac{a_1Q_i(s) + a_2H_2(s)}{s + a_2} \right) - b_2H_2(s) \quad (3.24)$$

จัดรูปโดยให้อัตราการไหลของของเหลวขาเข้าสู่ระบบ $Q_i(s)$ เป็นอินพุต และระดับของของเหลวในถังที่ 2 $H_2(s)$ เป็นเอาต์พุต จะได้สมการถ่ายโอนของระบบเป็นดังสมการที่ 3.25

$$\frac{H_2(s)}{Q_i(s)} = \frac{a_1b_1}{s^2 + (a_2 + b_2)s + (b_2 - b_1)a_2} \quad (3.25)$$

แผนผังระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop) สามารถเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 3.15 แผนผังระบบควบคุมแบบปิด

จากแผนผังระบบควบคุมแบบปิด สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ฟังก์ชันถ่ายโอนได้ว่า

$$G_{Cl}(s) = \frac{PID(s) \cdot Plant(s)}{1 + PID(s) \cdot Plant(s)} \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$PID(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_d s \quad (3.27)$$

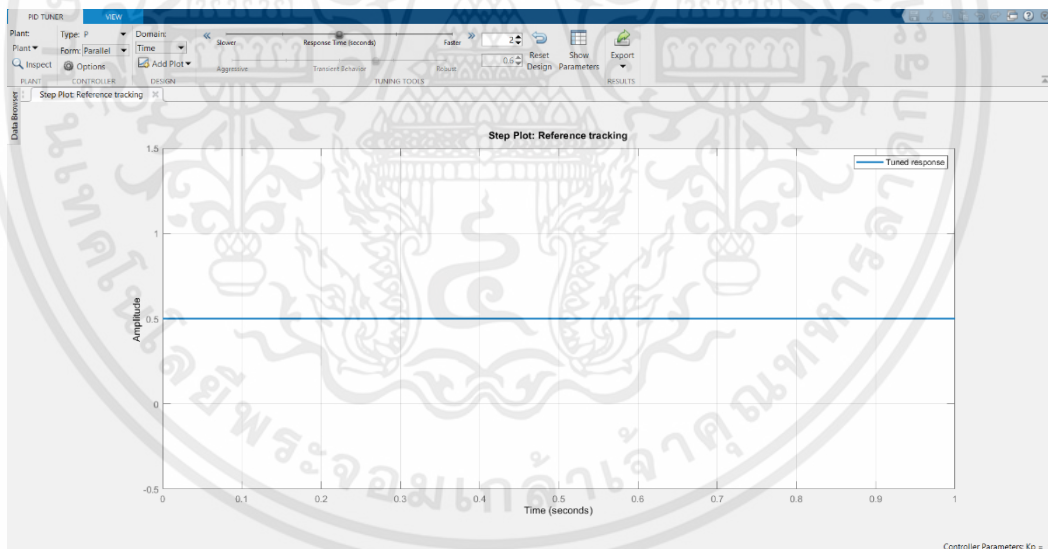
และ

$$PID(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.29)$$

ทำการป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับระบบควบคุมแบบเปิดของฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ทำการวัดตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟผลการตอบสนองของกระบวนการ เลือกเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันสูงสุด เพื่อดูพารามิเตอร์ K, L และ T แล้วคำนวณหาค่าอัตราขยายต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

3.4.2 วิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB

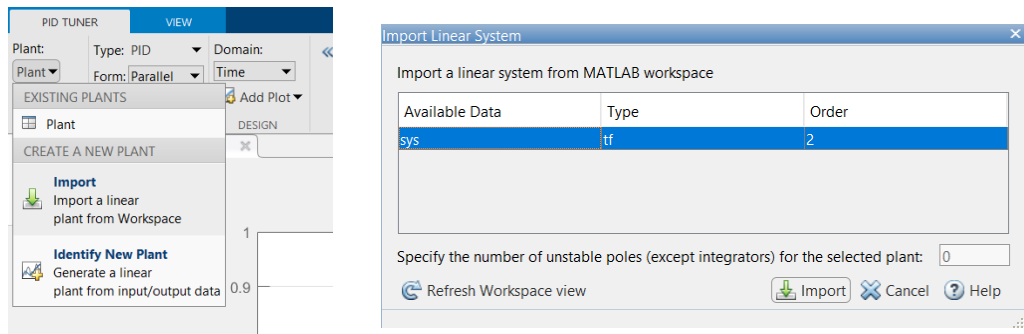
ป้อนฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแบบเปิดลงในโปรแกรมปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติใน MATLAB เพื่อให้โปรแกรมปรับค่าพีไอดีที่เหมาะสมกับระบบ โดยขั้นตอนแรกพิมพ์ pidTuner ลงใน Command Window เพื่อเปิดโปรแกรม PID Tuner ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 โปรแกรม PID Tuner ใน MATLAB

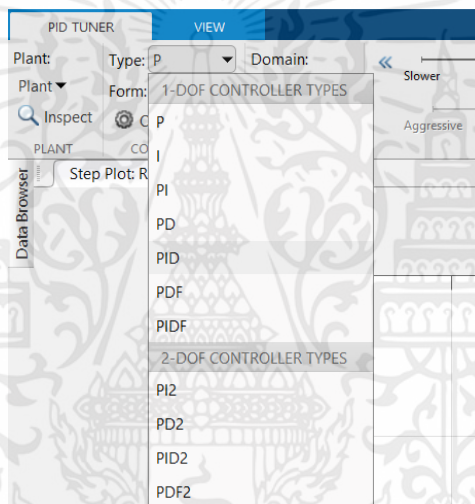
นำเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแบบเปิดในโปรแกรมโดยการเลือกที่ Plant และ Import จากนั้นเลือกฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้เขียนลงใน Workspace แล้วกด Import

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

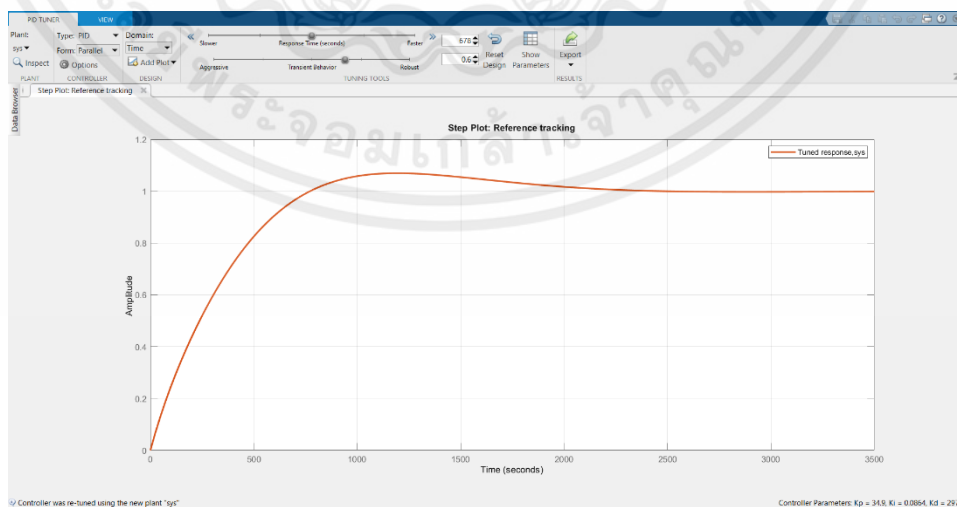


รูปที่ 3.17 การนำเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแบบเปิดในโปรแกรม PID Tuner

จากนั้นเลือกประเภทของตัวควบคุมที่ต้องการ ในระบบนี้ต้องการตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อการปรับค่าเพื่อให้เสถียรภาพที่ดีที่สุด จึงเลือกที่ PID



รูปที่ 3.18 การเลือกประเภทของตัวควบคุมบนโปรแกรม PID Tuner ใน MATLAB



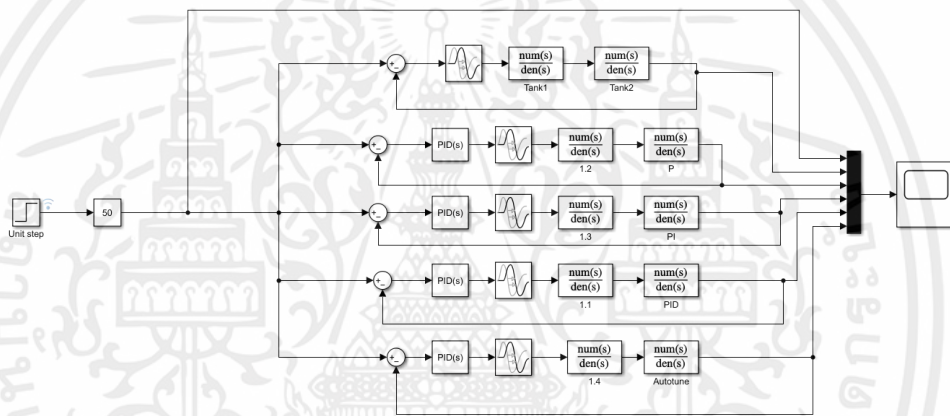
รูปที่ 3.19 หน้าต่างของโปรแกรม PID Tuner แสดงกราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กราฟผลตอบสนองเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย โดยมีตัวควบคุมแบบพีไอดีซึ่งพารามิเตอร์จะถูกคำนวณโดยโปรแกรม PID Tuner โดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับ เวลาตอบสนอง (Response Time) และพฤติกรรมที่สภาวะชั่วคราว (Transient Behavior) ได้

3.5 การจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink

หลังจากได้ค่าพีไอดีที่คำนวณได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์ ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีไอดี และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี รวมถึงระบบที่ไม่มีตัวควบคุมนำมาจำลองบน Simulink เป็นระบบควบคุมแบบปิด และมีค่าหน่วยเวลาก่อนเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนของถังน้ำเป็นเวลา 161.2 วินาที จากนั้นแสดงผลบน Scope เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของแต่ละตัวควบคุม เมื่อป้อนค่าเป้าหมายระดับของของเหลว (Setpoint) เป็น 50%



รูปที่ 3.20 การเขียนบล็อกไดอะแกรมเพื่อเปรียบเทียบตัวควบคุมประเภทต่าง ๆ เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% บน Simulink

บทที่ 4

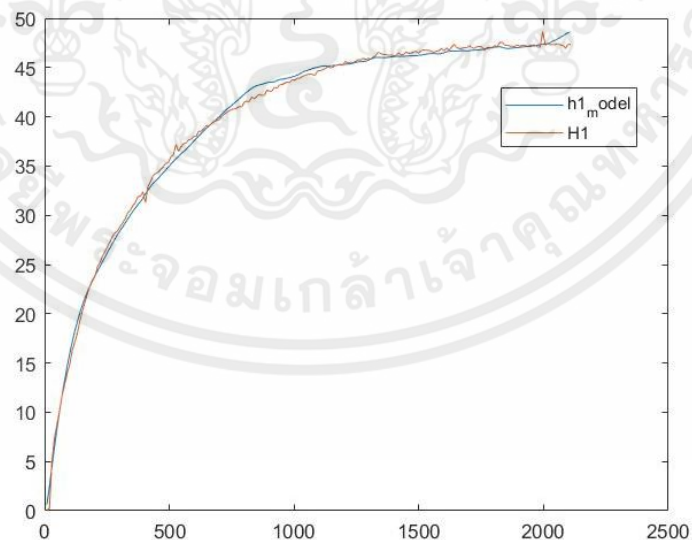
ผลการทดลอง

จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบของแบบจำลองการควบคุมระดับถึงคู่แบบปฏิสัมพันธ์ โดยมีวิธีระบุอัตลักษณ์ 2 วิธี คือ ระบุอัตลักษณ์ด้วยวิธีปริพันธ์ และระบุอัตลักษณ์โดยการใช้ Toolbox ใน MATLAB ผลการคำนวณค่าพีไอดีและการจำลองผลตอบสนองจากโปรแกรม MATLAB นอกจากนี้ยังมีผลการเปรียบเทียบของการจำลองระบบควบคุมใน MATLAB และ LabVIEW บทนี้จะมีผลการทดลอง 6 ส่วน ได้แก่

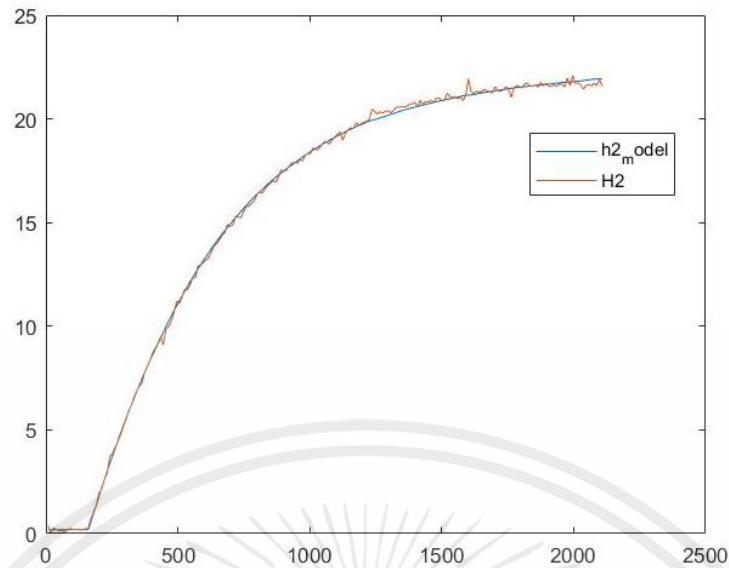
1. ผลการทดลองจากการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์
2. ผลการทดลองจากการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB
3. ผลการคำนวณค่าพีไอดีจากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method)
4. ผลการคำนวณค่าพีไอดีจากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB
5. ผลการจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink ใน MATLAB
6. ผลการเปรียบเทียบของการจำลองระบบควบคุมระหว่าง Simulink ใน MATLAB และ LabVIEW

4.1 ผลการทดลองจากการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์

จากการเก็บค่าต่าง ๆ จากระบบแล้วนำมาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสมการที่ 3.7 และ 3.15 จะได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 1 จากระบบจริง (สีแดง) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์ (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถึงที่ 2 จากระบบจริง (สีแดง) และจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์ (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

จากสมการที่ 3.7 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของถังที่ 1

$$h_1(t) = h_1(0) + a_1 \int_0^t q_i(t) dt - a_2 \left(\int_0^t h_1(t) dt - \int_0^t h_2(t) dt \right)$$

และสมการที่ 3.15 โมเดลของถังที่ 2

$$h_2(t) = \begin{cases} 0.1912 & , \quad 0 \leq t \leq 161.2 \\ h_2(t) = h_2(0) + b_1 \int_0^t h_1(t) dt - b_2 \int_0^t h_2(t) dt & , \quad 161.2 < t \leq 2108 \end{cases}$$

จะได้ค่าพารามิเตอร์ a_1, a_2, b_1, b_2 ดังตารางที่ 4.1

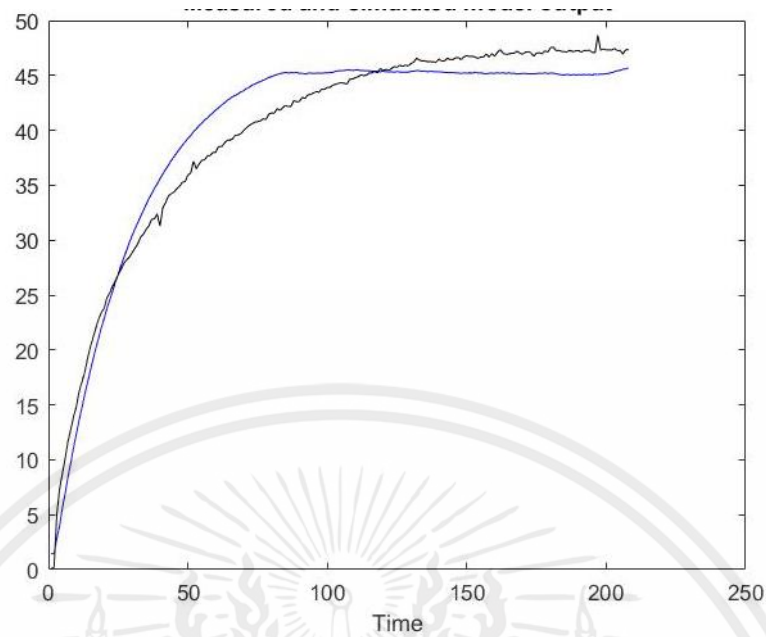
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยวิธีปริพันธ์ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

$h_1(0)$	a_1	a_2	$h_2(0)$	b_1	b_2
0.6312	5.5498×10^{-4}	0.0095	0.1912	0.0020	0.0042

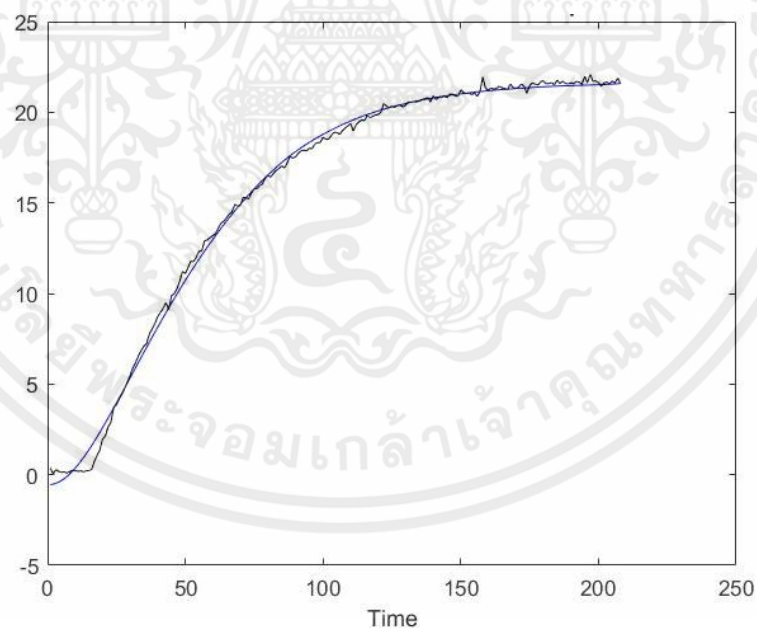
4.2 ผลการทดลองของการระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB

เมื่อทำการระบุอัตลักษณ์ของระบบด้วย Toolbox ใน MATLAB ที่ใช้แบบจำลองคือ Polynomial Models ด้วยวิธีการหาแบบ ARMAX จากการทดลองที่เก็บค่า และบันทึกค่าไว้ที่การเปิดวาล์วควบคุมที่ 70% ทำให้ได้โมเดล และสมการพารามิเตอร์ของ ARMAX ทั้งสองดังดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถังที่ 1 จากระบบจริง (สีดำ) และจากขโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของของเหลวถังที่ 1 จากระบบจริง (สีดำ) และจากขโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากวิธีระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยใช้ Toolbox ใน MATLAB (สีน้ำเงิน) ที่ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.17 $A(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) + C(q)e(t)$ จะได้คำตอบของสมการ $A(q)$, $B(q)$ และ $C(q)$ ของทั้งสองถึง เปิดวาล์วที่ 70% ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุอัตลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยใช้ Toolbox ใน MATLAB ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

Tank	$A(q)$	$B(q)$	$C(q)$
1	$1-0.1975z^{-1} - 0.742z^{-2}$	$0.006178z^{-2}$	$1+0.7388z^{-1}+ 0.04861z^{-2}$
2	$1-1.932z^{-1} + 0.9329z^{-2}$	$0.00005256z^{-2}$	$1-1.362z^{-1}+ 0.3622z^{-2}$

ทำการหาความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากทั้ง ทั้ง 2 วิธี โดยวิธีการหาจากสมการ Matching Error คือ ผลเฉลี่ยของผลต่างของค่าพารามิเตอร์ของโมเดลที่หาค่าพารามิเตอร์ของค่าจริง ดังสมการที่ 4.1

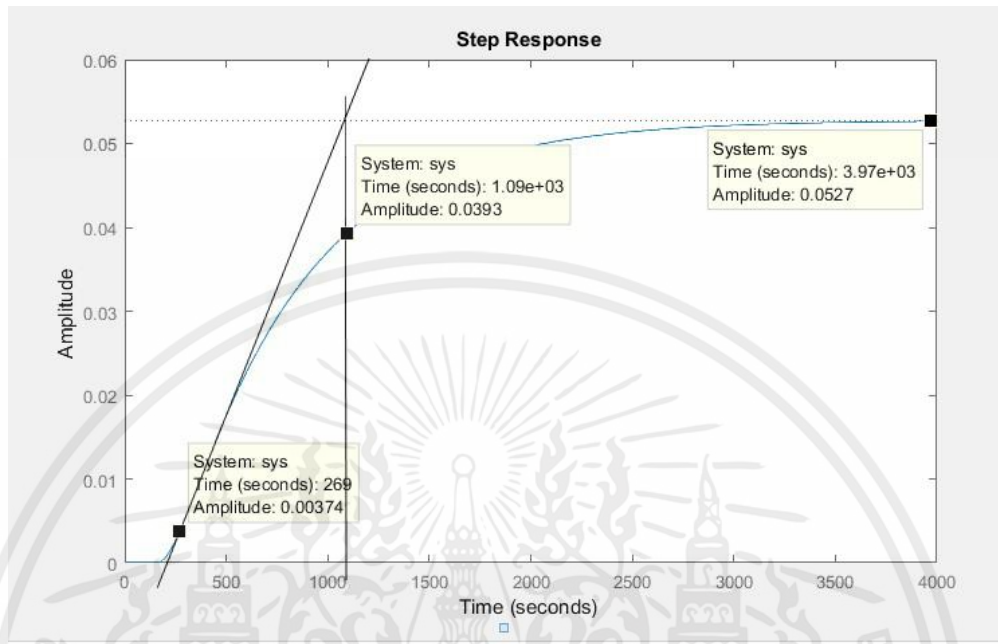
$$\text{Matching Error} = \text{mean} | \text{Model-Actual} | \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.1 ทำการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

Tank / โมเดลที่ทำการระบุอัตลักษณ์ของระบบ	Tank 1	Tank 2
วิธีปริพันธ์	0.4464	0.1197
Toolbox ใน MATLAB	2.001572	0.2517

จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของโมเดลที่ทำการระบุอัตลักษณ์ของระบบ ที่การเปิดวาล์วควบคุม 70% ด้วยวิธีปริพันธ์มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของทั้งสองถึงน้อยกว่าวิธีที่ใช้ Toolbox ใน MATLAB วิธีปริพันธ์ พิจารณาจากสมการจะได้ว่าถึงที่ 1 และ ถึงที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.4464 และ 0.1197 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าว การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จึงใช้วิธีการระบุอัตลักษณ์ด้วยวิธีปริพันธ์

4.3 ผลการการคำนวณค่าพีไอดีจากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Step Response Method)



รูปที่ 4.5 กราฟผลตอบสนองของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

หลังจากทำการป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับระบบแบบเปิดของฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ เพื่อหาพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุม ได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 4.5

จากกราฟจะได้ค่า $K = 0.00527$, $L = 269$ และ $T = 821$ นำค่าเหล่านี้มาคำนวณพารามิเตอร์ที่ตามสูตรของซีกเกลอร์-นิโคลส์ ได้ผลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการหาพารามิเตอร์โดยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์

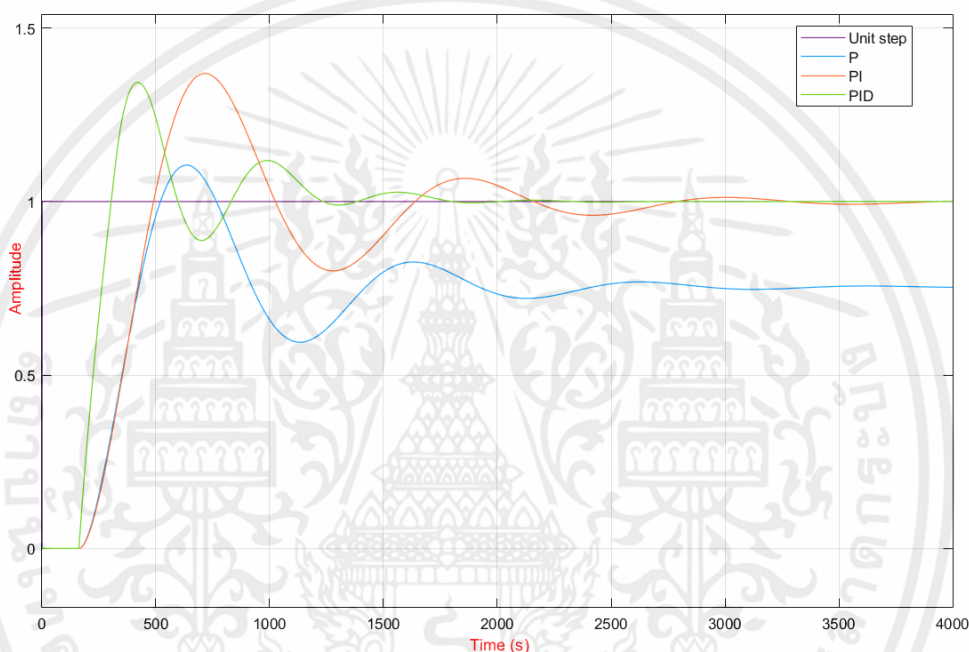
ตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	57.9136	-	-
PI	52.1222	807	-
PID	69.4963	538	134.5000

จาก $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ และ $K_d = K_p T_d$ จะได้ค่าอัตราขยายตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงอัตราขยายโดยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์

ตัวควบคุม	K_p	K_i	K_d
P	57.9136	-	-
PI	52.1222	0.0646	-
PID	69.4963	0.1292	9347.2

นำค่าที่ได้มาแทนในตัวควบคุมของระบบควบคุมแบบปิด และป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย จะได้กราฟผลตอบสนองดังรูปที่ 4.6

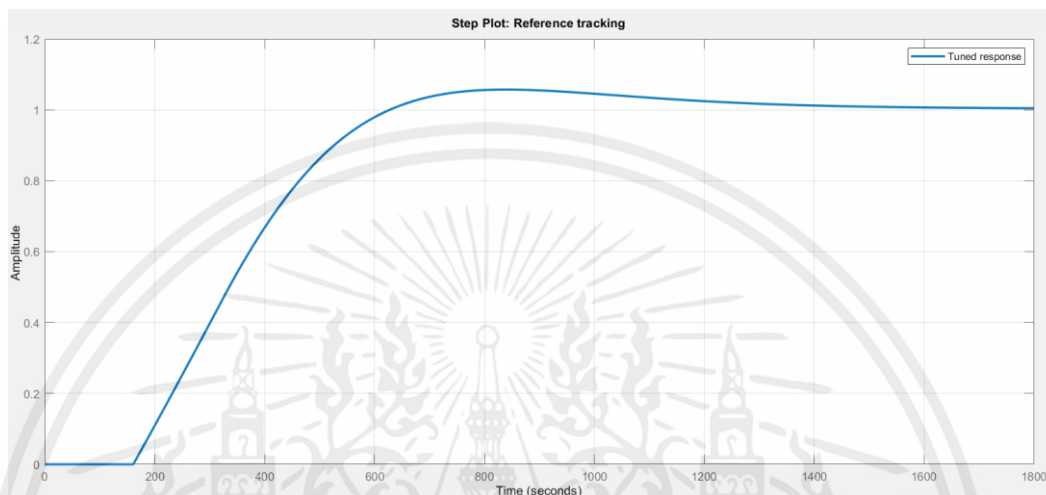


รูปที่ 4.6 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพี, แบบพีไอ และแบบพีไอดี ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกเลอร์-นิโคลส์เมื่อป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย เทียบกับเวลา (วินาที)

จากรูปที่ 4.6 เส้นกราฟสีม่วงแสดงอินพุตฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย เส้นกราฟสีฟ้าแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพี เส้นกราฟสีส้มแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ และเส้นกราฟสีเขียวแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดี จะเห็นได้ว่ากราฟของผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไม่สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสภาวะคงตัว ส่วนผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ และพีไอดี สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสภาวะคงตัว แต่มีการแกว่งของผลตอบสนองก่อนเข้าสู่เสถียรภาพ โดยตัวควบคุมแบบพีไอจะใช้เวลาเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้ากว่าแบบพีไอดี แต่มีค่า Overshoot มากกว่า

4.4 ผลการคำนวณค่าพีไอดีจากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB

หลังจากป้อนฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแบบเปิดลงในโปรแกรม PID Tuner ใน MATLAB ได้ผลลัพธ์เป็นค่า $K_p=38.62$ $K_i=0.05985$ และ $K_d=2765.8$ และได้กราฟผลตอบสนองเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีซึ่งคำนวณโดยอัตโนมัติโดยโปรแกรม PID Tuner เมื่อป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

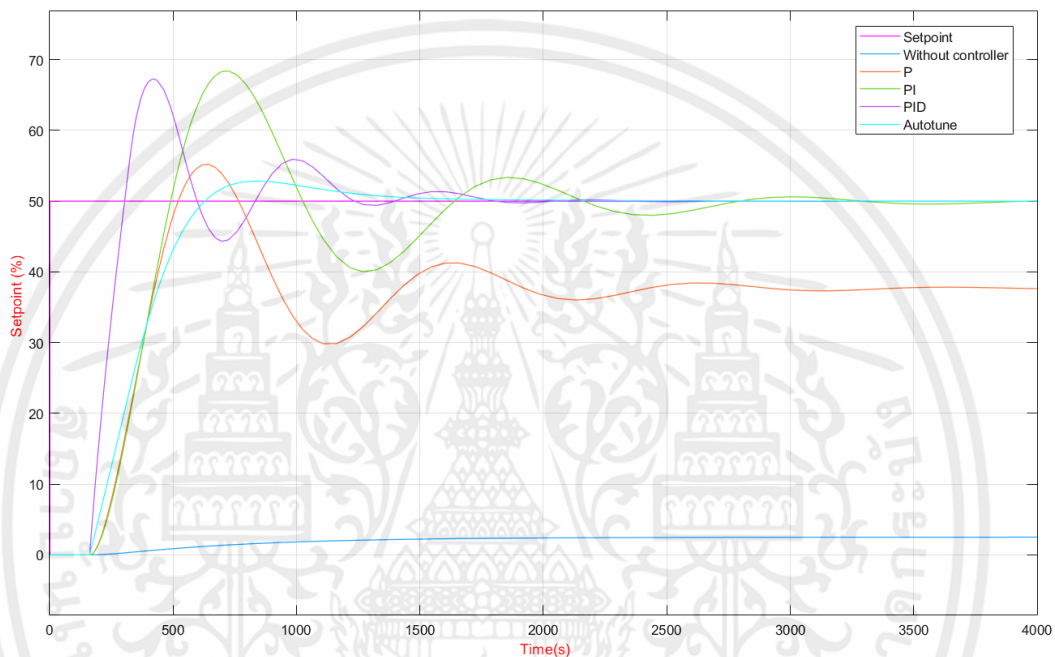
จากผลการการคำนวณค่าพีไอดีจากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และจากการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB ได้คุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดที่ตัวควบคุมต่าง ๆ โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

ตัวควบคุม คุณสมบัติ ของระบบ	Ziegler-Nichols Step Response Method			PID Tuner
	P	PI	PID	PID
Rise Time: t_r (วินาที)	182.8128	227.6501	113.6862	330
Settling Time: t_s (วินาที)	2313.7	2637.2	1650.2	1260
Maximum Overshoot (%)	46.5507	36.7617	34.0785	5.72

4.5 ผลการจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดบน Simulink ใน MATLAB

แทนค่าพีโอดีที่ได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีโอดี และวิธีการปรับค่าพีโอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner ใน MATLAB ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบพีโอดี รวมถึงระบบที่ไม่มีตัวควบคุม นำมาจำลองบน Simulink เป็นระบบควบคุมแบบปิดและแสดงผลบน Scope เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองหรือเอาท์พุทของแต่ละตัวควบคุม เมื่อป้อนค่าเป้าหมายระดับของของเหลวเป็น 50% ได้กราฟดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่ไม่มีตัวควบคุม, มีตัวควบคุมแบบพี, แบบพีไอ และแบบพีโอดี ที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และมีตัวควบคุมแบบพีโอดีที่ได้จากการปรับค่าพีโอดีอัตโนมัติ เมื่อป้อนค่าเป้าหมาย 50% เทียบกับเวลา (วินาที)

จากรูปที่ 4.8 เส้นกราฟสีชมพูแสดงอินพุตซึ่งเป็นค่าเป้าหมายของระดับของของเหลวที่ 50% และเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่ไม่มีตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าระบบไม่สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

ในส่วนของการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เส้นกราฟสีส้มแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพี เส้นกราฟสีเขียวแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ และเส้นกราฟสีม่วงแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีโอดี จะเห็นได้ว่ากราฟของผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไม่สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสภาวะคงตัว ส่วนผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ และพีโอดี สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสภาวะคงตัว แต่มีการแกว่งของผลตอบสนองก่อนเข้าสู่เสถียรภาพ โดยตัวควบคุมแบบพีไอจะใช้เวลาเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้ากว่าแบบพีโอดี แต่มีค่า Overshoot มากกว่า

ในส่วนของเส้นกราฟฟ้าแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ ดีที่ได้จากการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสภาวะคงตัว และใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายในสภาวะคงตัวเร็วกว่าแบบอื่น ๆ ที่สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ เช่นเดียวกัน และ Overshoot ต่ำที่สุด

คุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดที่ตัวควบคุมต่าง ๆ โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner แสดงดังตารางที่ 4.7

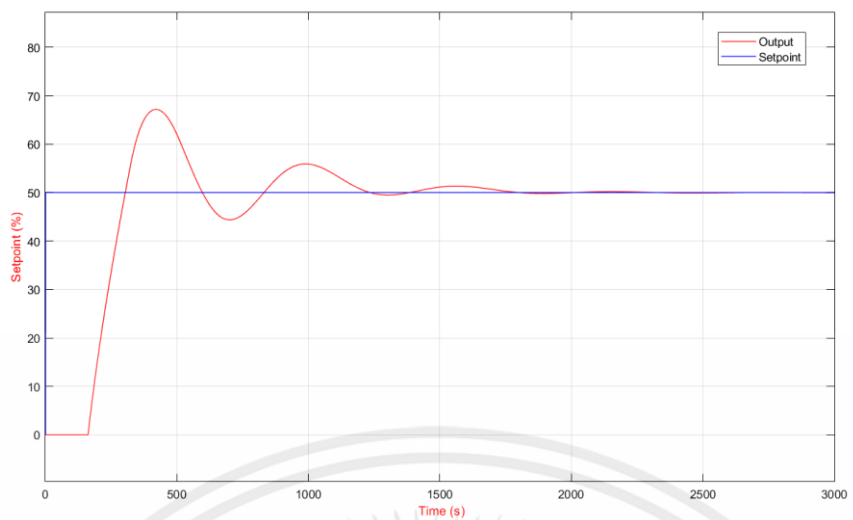
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบควบคุมแบบปิดที่ตัวควบคุมต่าง ๆ โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และวิธีการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50%

ตัวควบคุม คุณสมบัติ ของระบบ	Ziegler-Nichols Step Response Method			PID Tuner
	P	PI	PID	PID
Rise Time: t_r (วินาที)	180.942	223.534	113.347	326.895
Settling Time: t_s (วินาที)	2667.8	2643.7	1650.6	1254.7
Maximum Overshoot (%)	46.324	38.194	34.459	5.851

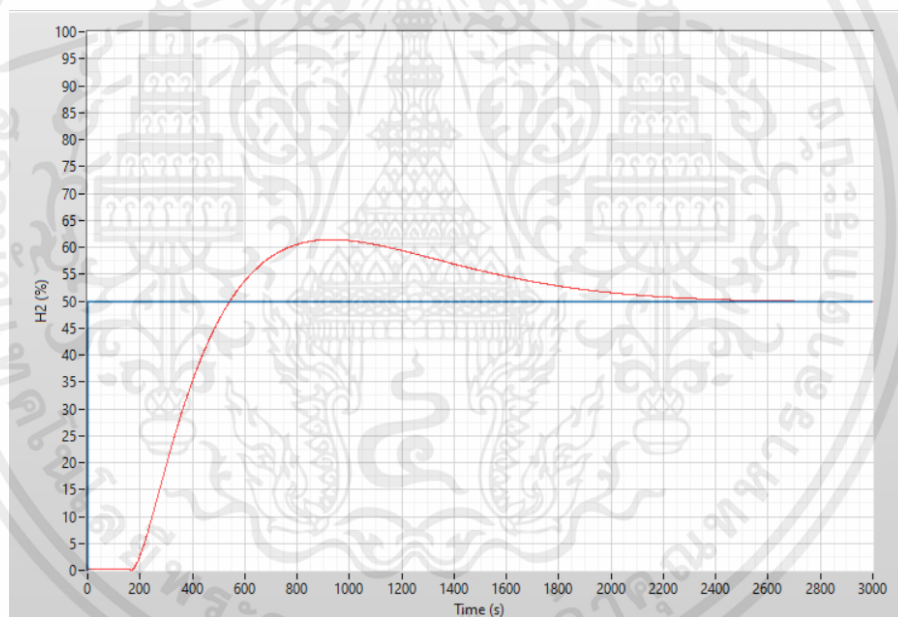
จากผลการจำลองระบบดังรูปที่ 4.8 และการแสดงค่าคุณสมบัติของระบบตามตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมพีไอดีที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner ถึงแม้จะมีเวลาขึ้น (Rise Time) ช้ากว่าตัวควบคุมแบบอื่น ๆ แต่มีเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยที่สุดคือที่ 1254.7 วินาที และยังมีเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุด (Maximum Overshoot) น้อยที่สุดคือ 5.851% ดังนั้นตัวควบคุมพีไอดีที่ได้จากวิธีนี้จึงเหมาะสมกับระบบของกระบวนการระดับของเหลวถึงคู่แบบ ปฏิสัมพันธ์มากที่สุด

4.6 ผลการเปรียบเทียบของการจำลองระบบควบคุมระหว่าง Simulink ใน MATLAB และ LabVIEW

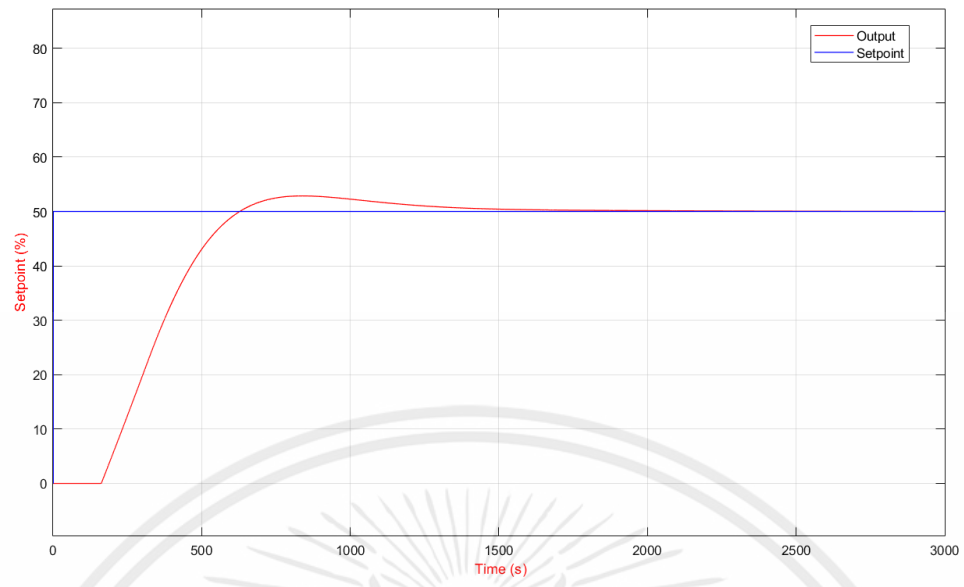
นำค่าพารามิเตอร์ในตัวควบคุมพีไอดีที่ได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และตัวควบคุมพีไอดีที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner มาจำลองในระบบควบคุมใน LabVIEW และเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่จำลองบน Simulink ข้างต้น



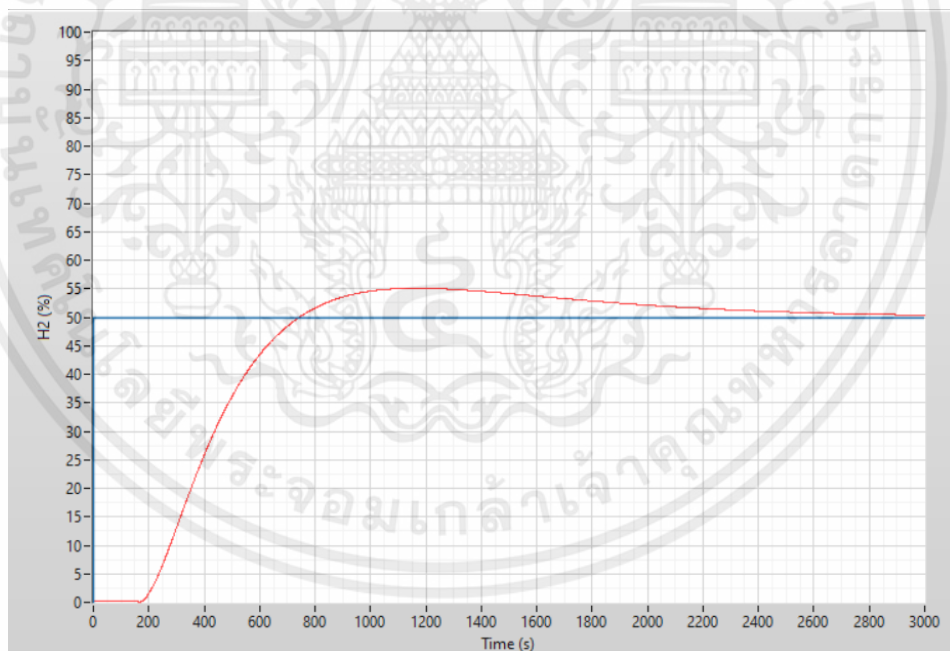
รูปที่ 4.9 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน Simulink



รูปที่ 4.10 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW



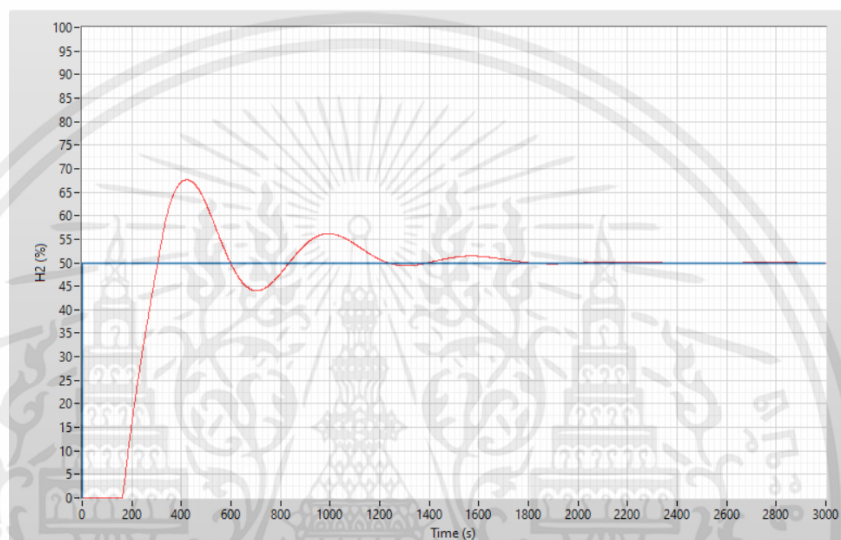
รูปที่ 4.11 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน Simulink



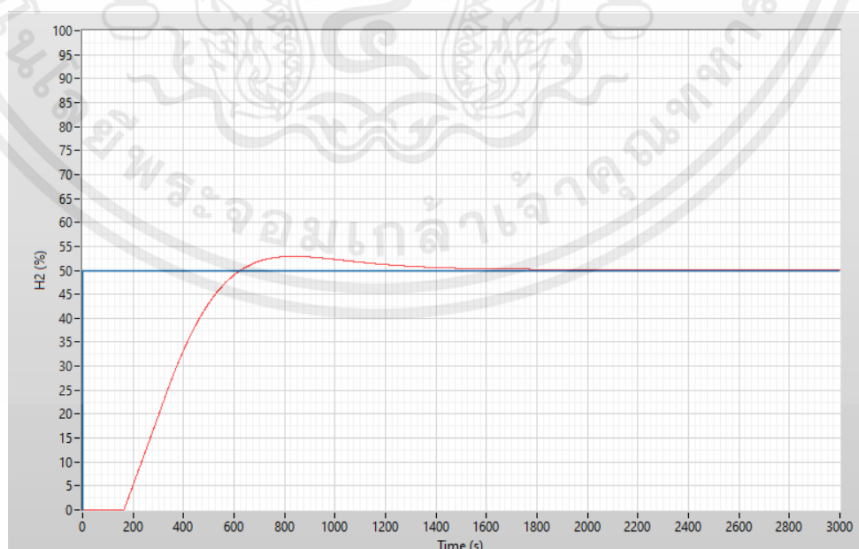
รูปที่ 4.12 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติโดย PID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของระบบทั้งแบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์และที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไอดี อัตโนมัตินี้โดย PID Tuner ระหว่างรูปที่ 4.9 กับ รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 กับรูปที่ 4.12 พบว่า กราฟผลตอบสนองที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์พบว่าส่วนที่ทำให้ผลตอบสนองออกมาแตกต่างคือการใช้ฟังก์ชันคำนวณเวลาที่แตกต่างกัน และค่าของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีการปิดทศนิยมต่างกันทำให้กราฟผลตอบสนองแตกต่างกัน จึงได้ทำการปรับแก้โปรแกรมต้นแบบแล้วทดลองใหม่อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบ จากการเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองระหว่างรูปที่ 4.9 กับ รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.11 กับรูปที่ 4.14 พบว่าผลตอบสนองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.13 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW (ที่ปรับแก้)



รูปที่ 4.14 กราฟผลตอบสนองของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติ โดยPID Tuner เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เทียบกับเวลา (วินาที) ที่จำลองบน LabVIEW (ที่ปรับแก้)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทำการระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังแบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี โดยเริ่มต้นด้วยการติดตั้งเครื่องมือวัดในกระบวนการระดับของเหลวถัง แล้วทำการออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อเก็บค่าระดับของน้ำในถังและค่าอัตราการไหลโดยเปิดวาล์วที่ 70% ค่าที่ได้มีดังนี้ เริ่มต้นเปิดวาล์ว ค่าของระดับของน้ำถังที่ 1 และ 2 จะมีค่าอยู่ที่ 0.083% และ 0.37% อัตราการไหลอยู่ที่ 239.013 ลิตรต่อชั่วโมง ระหว่างนั้นโปรแกรมจะเก็บค่าทุก ๆ 10 วินาทีเมื่อระดับน้ำเริ่มเสถียรจะได้ค่าระดับอยู่ที่ 47.31% และ 21.57% ตามลำดับ ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 443.64 ลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปใช้ในการระบุอัตลักษณ์เพื่อหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ การระบุอัตลักษณ์ของระบบ มี 2 วิธี คือ วิธีแบบปริพันธ์ และ ใช้ Toolbox ใน MATLAB วิธีปริพันธ์เป็นการนำค่าระดับของของเหลวและอัตราการไหลที่เก็บได้จาก LabVIEW มาวิเคราะห์โดยการอินทิเกรตเทียบกับเวลา และแก้สมการด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อนำมาแทนในสมการกายภาพของระบบ ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ และ ใช้ Toolbox ใน MATLAB เป็นการสร้างโมเดลแบบ Black Box โมเดลที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ แล้วนำค่าที่เก็บได้จากโปรแกรม LabVIEW เข้าสู่โมเดล แล้วทำการสุ่มพารามิเตอร์จะแสดงกราฟระหว่างค่าจริงและกราฟโมเดลทางคณิตศาสตร์ จากนั้นทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยจากกราฟทั้งสอง คือ เปรียบเทียบค่าจริงและค่าที่ได้จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ของทั้ง 2 วิธี ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของวิธีแบบปริพันธ์ ถึงที่ 1 และ 2 จะมีค่าอยู่ที่ 0.4464 และ 0.1197 ส่วนวิธีที่ใช้ Toolbox ใน MATLAB มีค่าอยู่ที่ 2.001572 และ 0.2517 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หาโดยวิธีแบบปริพันธ์เหมาะสมกับระบบนี้มากที่สุด เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า

จากนั้นนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ได้จากวิธีปริพันธ์มาคำนวณเป็นสมการฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ และป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยให้กับระบบแบบเปิดของฟังก์ชันถ่ายโอน เพื่อนำมาคำนวณหาตัวควบคุมแบบพี แบบพีไอ และแบบพีไอดีด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซิกเกิ้ลอร์-นิโคลส์ ซึ่งเป็นสังเกตกราฟการตอบสนองของระบบที่เวลาต่าง ๆ เพื่อมาคำนวณตามรูปแบบ และหาพารามิเตอร์ในตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการปรับค่าพีไอดีอัตโนมัติ โดย PID Tuner ใน MATLAB จากนั้นนำผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบปิดที่มีตัวควบคุมที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธี รวมถึงระบบที่ไม่มีตัวควบคุม มาจำลองบน Simulink และมีค่าหน่วงเวลาก่อนเข้าฟังก์ชันถ่ายโอนของถังน้ำเป็นเวลา 161.2 วินาที แล้วแสดงผลบน Scope เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของแต่ละตัวควบคุม เมื่อป้อนค่าเป้าหมายระดับของของเหลวเป็น 50% จากกราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมประเภทต่าง ๆ ข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า สำหรับตัวควบคุมที่คำนวณจากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซิกเกิ้ลอร์-นิโคลส์ ตัวควบคุมแบบพีไม่สามารถทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสถานะคงตัว แต่ตัวควบคุมแบบพีไอ และพีไอดีสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในสถานะคงตัว แต่มีการแกว่งของผลตอบสนองก่อนเข้าสู่เสถียรภาพ โดยตัวควบคุมแบบพีไอใช้เวลาเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้ากว่าแบบพีไอดี และมีค่า Overshoot มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวควบคุมที่ได้จากการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner มีเวลาเข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดคือ 1254.7 วินาทีและเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินต่ำที่สุดคือ 5.851% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมอื่น ๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวควบคุมพีไอที่ได้จากวิธีปรับค่าพีไออัตโนมัติจึงเหมาะสมกับระบบของกระบวนการระดับของเหลวถึงคู่แบบปฏิสัมพันธ์มากที่สุด ส่วนตัวควบคุมที่ได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์สามารถใช้เป็นค่าตั้งต้นในการปรับค่าในกระบวนการจริงต่อไปได้ เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เสถียรเท่าที่ควร

ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำค่าพารามิเตอร์ในตัวควบคุมพีไอที่ได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ และตัวควบคุมพีไอที่ได้จากวิธีการปรับค่าพีไออัตโนมัติโดย PID Tuner มาจำลองในระบบควบคุมใน LabVIEW เพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่จำลองบน Simulink เมื่อป้อนค่าเป้าหมายเป็น 50% เหมือนกัน พบว่ากราฟผลตอบสนองที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงกัน จึงได้ทำการปรับแก้โปรแกรมต้นแบบแล้วทดลองใหม่อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าผลตอบสนองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์พบว่าส่วนที่ทำให้ผลตอบสนองออกมาแตกต่างกันคือการใช้ฟังก์ชันค่าหน่วยเวลาที่แตกต่างกัน และค่าของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีการปัดทศนิยมต่างกัน ทำให้กราฟผลตอบสนองแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บค่าระดับของของเหลว และค่าอัตราการไหล จากระบบควบคุมระดับจริงควรทำการเก็บค่าที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่มีความเป็นเสถียรภาพมากที่สุด จึงนำค่าที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วนั้นไปใช้ในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ต่อไป

ในการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของเครื่องมือวัดที่มีอยู่นั้น จำเป็นต้องทราบรายละเอียดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด เพื่อให้ค่าที่คำนวณนั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และทำให้การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์มีความใกล้เคียงกับระบบมากที่สุด

ในการคำนวณหาค่าพีไอดี ควรหาค่าพีไอดีจากวิธีการอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากผลตอบสนองจากการหาค่าพีไอดีที่ได้จากวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์ยังไม่เสถียรเท่าที่ควร ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีผลมาจากการลากเส้นความชันในขั้นตอนการหาค่าอัตราขยาย เพียงแต่สามารถใช้เป็นค่าตั้งต้นในการปรับค่าในกระบวนการจริงต่อไปได้

บรรณานุกรม

- กิตติวุฒิ จินนะบุตร. 2553. **ระเบียบวิธีเชิงเลขสำหรับงานวิศวกรรม**. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- กัณวริช พลุประชาญ์. 2555. **การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับวิศวกรรมศาสตร์**. กรุงเทพฯ : ท้อป
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2551. **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 6 (ฉบับปรับปรุงแก้ไข). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Katsuhiko Ogata. 2010. **Modern Control Engineering Fifth Edition**. New Jersey, United State of America : Prentice Hall
- พงศกร สมคะเน. 2562. “การระบุเอกลักษณ์ของระบบเพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับแบบจำลองควบคุมระดับน้ำที่มีการสื่อสารหยาบแบบไร้สาย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พงศกร สมคะเน, รุ่งโรจน์ กังวานสุระ และ เศรษฐกานต์ รุ่งเรือง . 2559. “การศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์แบบไร้สายโดยใช้โปรแกรมแลปวิว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ภาณุพงศ์ คงประเสริฐ, พิชามญชู่ บุญประคอง, ศุภลักษณ์ ศรีสมบัติ และ พรเทพ แจ็กคา . 2556. “การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW.” วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสยาม
- A. Abdulameer, M Sulaiman, M.S.M. Aras, D. Saleem. 2016. “GUI Based Control System Analysis Using PID Controller for Education.” **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.**, pp. 91-101
- The MathWorks, Inc. 1994-2021. **PID Controller Tuning in Simulink**. [Online]
Available : <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/guided-automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html>.
- กิตติวุฒิ จินนะบุตร. 2549. **ระเบียบวิธีเชิงเลขสำหรับงานวิศวกรรม**. [Online]
Available : https://www.rmuti.ac.th/user/kittiwut/company_files/

numerical_pdf/num1_47U6.pdf

ธิปก สรรพกิจ. 2015. **การใช้งาน DAQ**. [Online]

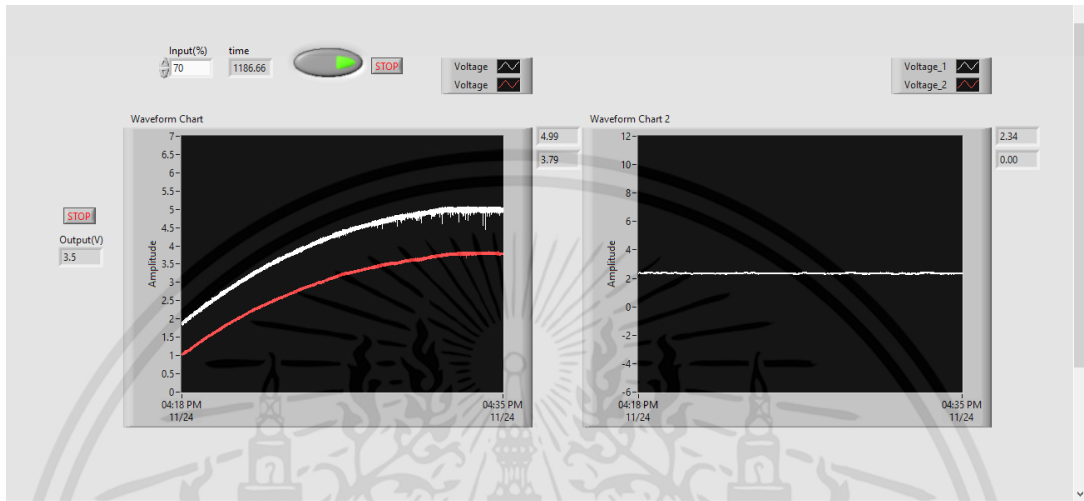
Available : <https://frostzclover.github.io/56010611/assets/files/PROCESSMEASUREMENT2.pdf>.



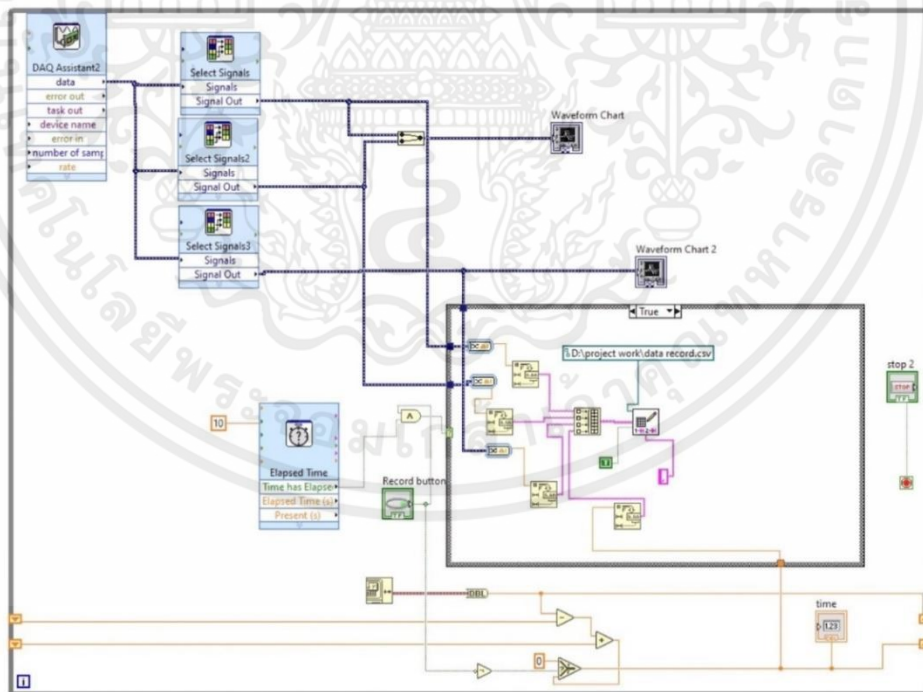
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก โปรแกรม LabVIEW

1. โปรแกรมบันทึกค่า

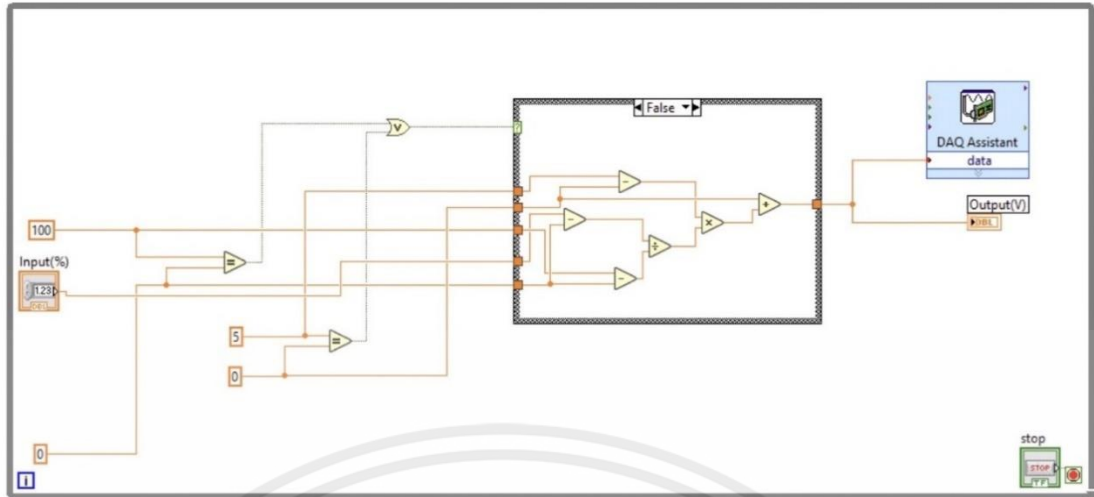


ก.1 Front Panel แสดงผลการทำงานของโปรแกรม และสั่งการโปรแกรม



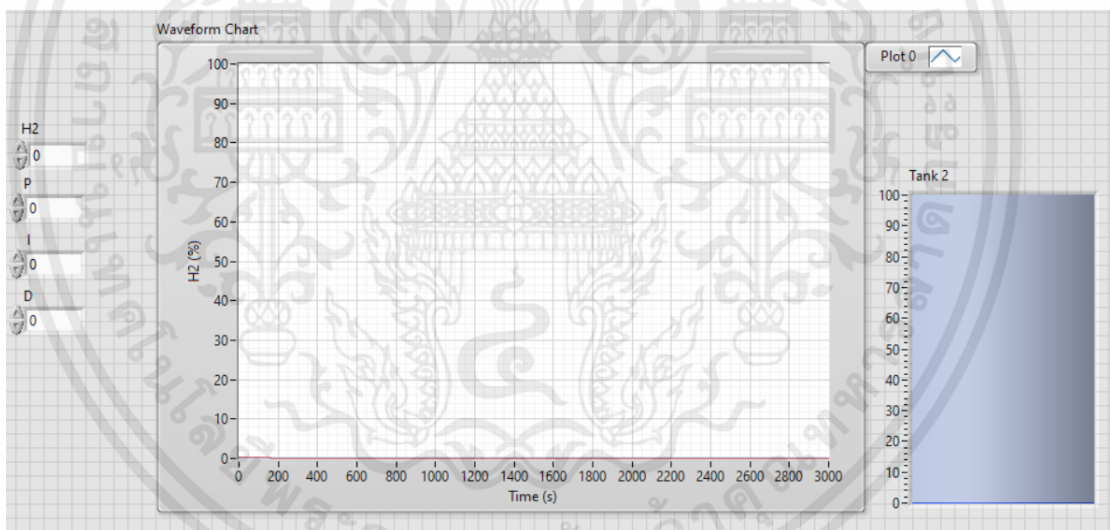
ก.2 Block Diagram ส่วน Input ซึ่งรับและบันทึกค่าที่ได้จากการวัดระดับ และอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



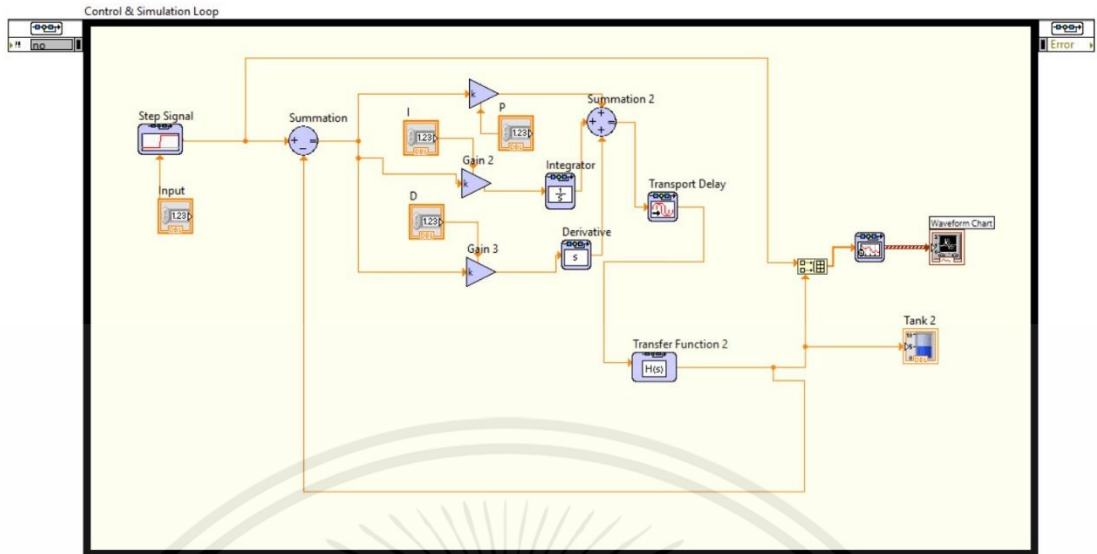
ก.3 Block Diagram ส่วน Output ในการเปิด/ปิด วาล์วควบคุม

2. โปรแกรมจำลองระบบควบคุมพีไอดี

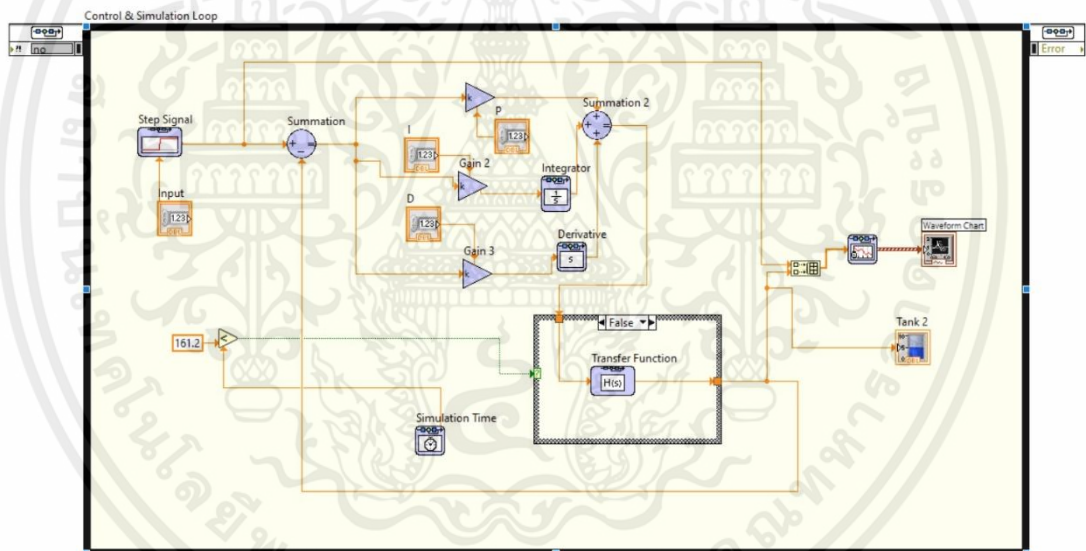


ก.4 Front Panel ของระบบจำลองควบคุมพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.5 Block Diagram ของระบบจำลองควบคุมพีไอดี (ปรับแก้)



ก.6 Block Diagram ของระบบจำลองควบคุมพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
Specification ของอุปกรณ์

1. Current to Pneumatic Converter



ข.1 Current to Pneumatic Converter

Specification

PK CUR-PNUE CONVERTER

Model: 5502 - 2101/NPT

Supply: 1.4 kg/cm²

Input: DC 4 - 20 mA

Output: 0.2 - 1.0 kg/cm²

2. ปั๊มน้ำ Mitsubishi Tornado WSP - 105S



ข.2 ปั๊มน้ำ Mitsubishi Tornado WSP - 105S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification

Model: Mitsubishi Tornado WSP - 105S

Liquid temp.: 0 – 40 °C

Frame cover & Casing: ABS

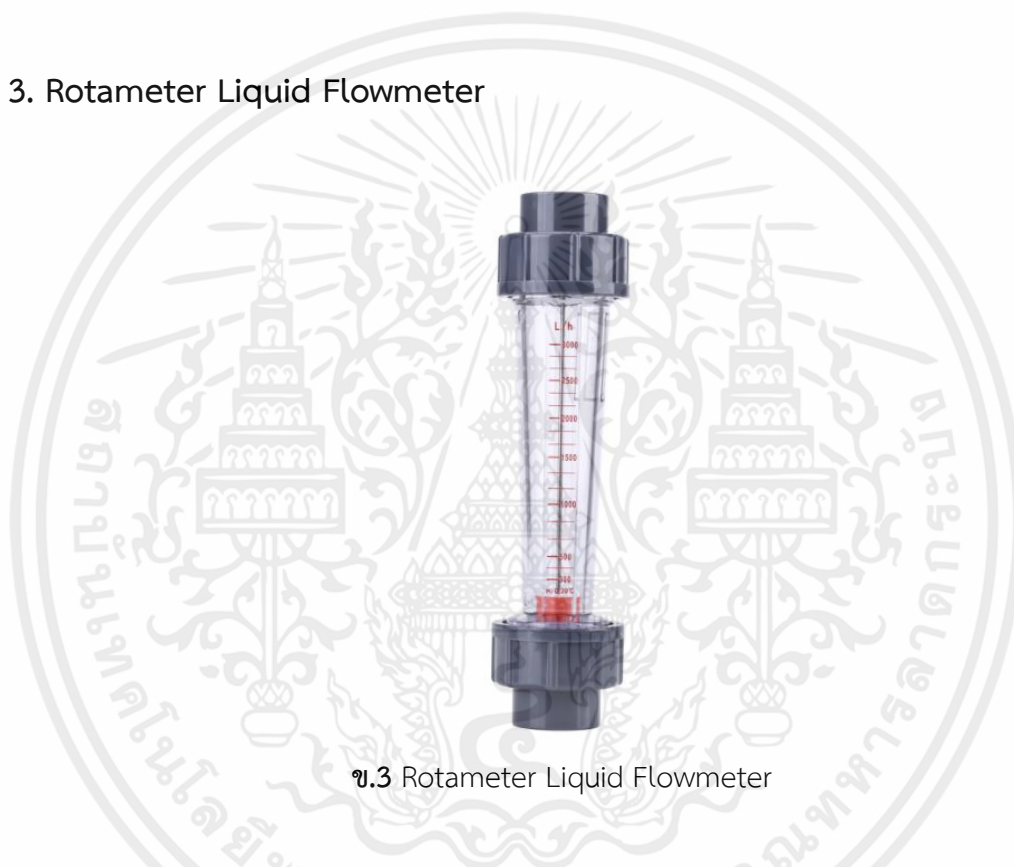
Supply: 220 – 230V, 50Hz

Particle Size: 82 L/min

Power Output: 100 watts

Cable: 3.5 meters

3. Rotameter Liquid Flowmeter



ข.3 Rotameter Liquid Flowmeter

Specifications

Model: LZS-25

Measure Flow Range: 300-3000 L/H

Working temperature: 0 – 60 °C

Accuracy Class: 4%

Fit for: DN25(1inch) Tube

Size: 23*5.9*5.9 cm

color: blue

material: plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Voltage to Current Converter



ข.4 Voltage to Current Converter

Appearance Size: 40*25*12mm

Power Supply Voltage: DC 7-30V

Input Current: 4-20mA

Output Voltage: 0-5V

Air Pressure: 86-106Kpa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การเขียนโปรแกรมใน MATLAB

1. การระบุอัตลักษณ์ของระบบโดยวิธีปริพันธ์

```
clear
JJ=importdata('70_convert.xlsx')

H1 = JJ(:,6);
H2 = JJ(:,7);
qi = JJ(:,8);
t = JJ(:,4);

IntH1=cumtrapz(t,H1);
IntH2=cumtrapz(t,H2);
Intqi=cumtrapz(t,qi);

A1=[t.^0 Intqi -IntH1+IntH2];
A2=[t.^0 IntH1 -IntH2];

A=blkdiag(A1,A2);
b=[H1;H2];

sol=lsqin(A,b)

h10=sol(1); a1=sol(2); a2=sol(3);
h20=sol(4); b1=sol(5); b2=sol(6);

%model
h1_model=h10+a1*Intqi-a2*(IntH1-IntH2);
h2_test=h20+b1*IntH1-b2*IntH2;

figure;plot(t,h1_model,t,H1);legend('Model','Plant');
figure;plot(t,h2_test,t,H2);

%PIECEWISE

T1=t(1:15);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T2=t(16:end);

A1=T1.^0;
b1=H2(1:15);

sol=A1\b1;
h20=sol;

h2_model1=sol*ones(size(T1));

IntH2_=cumtrapz(T2,H2(16:end));
IntH1_=cumtrapz(T2,H1(16:end));

A2_=[IntH1_ -IntH2_];
b2_=H2(16:end)-h20;

sol_=A2_\b2_

h2_model2=h20+sol_(1)*IntH1_-sol_(2)*IntH2_;

h2_model=[h2_model1(1:end);h2_model2];
figure;plot(t,h2_model,t,H2);legend('Model','Plant');

mean(abs(H1-h1_model))
mean(abs(H2-h2_model))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณสำหรับตัวควบคุมแบบพี ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของ ซีกเกลอร์-นิโคลส์

a1=5.549830105081420e-04;

a2=0.009463507788713;

b1=0.0018;

b2=0.0038;

sys=tf(a1*b1,[1 a2+b2 (a2*b2)-(a2*b1)],'Inputdelay',161.2)

%P controller

K=0.0527;

L=269;

T=1090-L

a=K*L/T;

Kp=1/a;

Gc=pid(Kp)

Gcl=feedback(Gc*sys,1)

step(Gcl)

stepinfo(Gcl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณสำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

a1=5.549830105081420e-04;

a2=0.009463507788713;

b1=0.0018;

b2=0.0038;

sys=tf(a1*b1,[1 a2+b2 (a2*b2)-(a2*b1)],'inputdelay',161.2)

%PI controller

K=0.0527;

L=269;

T=1090-L

a=K*L/T;

Ti=3*L;

Kp=0.9/a;

Ki=Kp/Ti;

Gc=pid(Kp,Ki)

Gcl=feedback(sys*Gc,1)

step(Gcl)

stepinfo(Gcl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณสำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ ด้วยวิธีผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของซีกเกลอร์-นิโคลส์

$a_1=5.549830105081420e-04;$

$a_2=0.009463507788713;$

$b_1=0.0018;$

$b_2=0.0038;$

$sys=tf(a_1*b_1,[1 \ a_2+b_2 \ (a_2*b_2)-(a_2*b_1)],'inputdelay',161.2)$

%PID controller

$K=0.0527;$

$L=269;$

$T=1090-L$

$a=K*L/T;$

$T_i=2*L;$

$T_d=L/2;$

$K_p=1.2/a;$

$K_i=K_p/T_i;$

$K_d=K_p*T_d;$

$G_c=pid(K_p,K_i,K_d)$

$G_{cl}=feedback(sys*G_c,1)$

step(Gcl)

stepinfo(Gcl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

Data Sheet ของอุปกรณ์

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X¹
- Linux^{®1}
- Pocket PC
- Win CE

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

¹Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- Embedded OEM applications.



ง.1 Data sheet ของ DAQ NI USB-6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้