

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC PID CONTROLLER PARAMETER ANALYZER



ฉบับานี้หนังสือเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

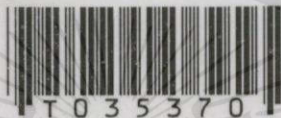
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-632-7

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC PID CONTROLLER PARAMETER ANALYZER



วิทยา ปานนิล

PITAYA PANNIL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 35370

วัน, เดือน, ปี 24 เม.ย. 2543

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-682-7

AUTOMATIC PID CONTROLLER PARAMETER ANALYZER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 2000 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-622-682-7

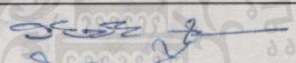
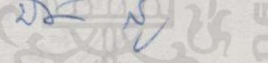
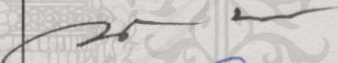
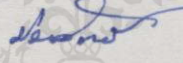



เอกสารนี้ **COPYRIGHT 2000** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณี **SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** ใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

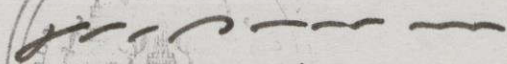
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ
AUTOMATIC PID CONTROLLER PARAMETER ANALYZER
ชื่อนักศึกษา นายพิทยา ปานนิล
รหัสประจำตัว 41061055
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.กิตติ ตีรเศรษฐ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วันชัย ธีรสุภา	
ผศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา	
รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม	
อาจารย์ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์	
รศ.กิตติ ตีรเศรษฐ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 6 มีนาคม 2543 เวลา 12.00 - 13.00 น.

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น ชั้น 4 ห้อง (E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 10 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID
แบบอัตโนมัติ

นักศึกษา

นายพิทยา ปานนิล

รหัสประจำตัว

41061055

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2543

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.กิตติ ศิริเศรษฐ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

ตัวควบคุมแบบ PID ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมร่วมกับวิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ PID ของ Ziegler-Nichols และอื่น ๆ อย่างไรก็ตามวิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ PID โดยทั่วไปจะเป็นการประมาณค่าที่ให้ผลดีในระดับหนึ่งและอาจเกิดค่าผิดพลาดขนาดใหญ่ได้เนื่องจากการวัด ดังนั้น ในทางปฏิบัติการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ยังคงต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูกซึ่งสิ้นเปลืองเวลาและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมในการปรับแต่งเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ PID ที่ดีที่สุด และเมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่สามารถปรับตัวเองได้อัตโนมัติเข้าไปในตัวควบคุม PID เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากและการเสียเวลาดังกล่าว แต่เนื่องจากตัวควบคุมประเภทนี้มีราคาแพงและเหมาะสมกับกระบวนการบางแบบเท่านั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พัฒนาออกแบบสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ขึ้น เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์เสริมการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม ซึ่งเครื่องวิเคราะห์ฯ นี้จะทำให้การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ลดลงไปได้อย่างมาก จากผลการทดลองนำค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ฯ ไปใช้ควบคุมกระบวนการจำลอง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการจำลองการควบคุมอุณหภูมิ และกระบวนการจำลองการควบคุมระดับของของเหลว แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ฯ สามารถควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนตามวิธีแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic PID Controller Parameter Analyzer
Student	Mr.Pitaya Pannil
Student ID.	41061055
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Kitti Tirasesth
Thesis Co-Advisor	Mr.Prasit Julsreeewong

ABSTRACT

The PID (proportional-integral-derivative) controller is widely used in the industries with the well known Ziegler-Nichols tuning method and other varieties. However, these methods yield good estimation of the PID controller parameters but the large error may occur from measurement. Also, most of the PID controllers being used in the real practice still require trial and error adjustment for each process after the tuning method have been done, which is a time consuming process. Moreover, the conventional method also needs the operator experiences to obtain the best results for the controller parameters. Recently, the self-tuning control (STC) or auto-tuning control functions are added to the general-purpose controllers with the PID function in order to reduce the complication of the controller parameter tuning. However this type of the controller is quite expensive and only appropriated to some industrial process. This thesis proposes a design of an automatic PID controller parameter analyzer being used as a support instrument in the industrial process control. Using this analyzer, the time to be spent in the trial and error procedures and its complexity can be reduced. Experimental results using the PID controller parameters synthesized from this analyzer to the liquid level control plant model and the temperature control plant model show that the responses of the controlled systems can be efficiently controlled without any difficulty in mathematical computation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ กิตติ ตีรเศรษฐ และ อาจารย์ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่แผนกจัดซื้อและพัสดุ เจ้าหน้าที่แผนกบัณฑิตศึกษา ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ได้กำลังใจต่อผู้วิจัยตลอดมา

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอขอบพระคุณคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิทยา ปานนิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

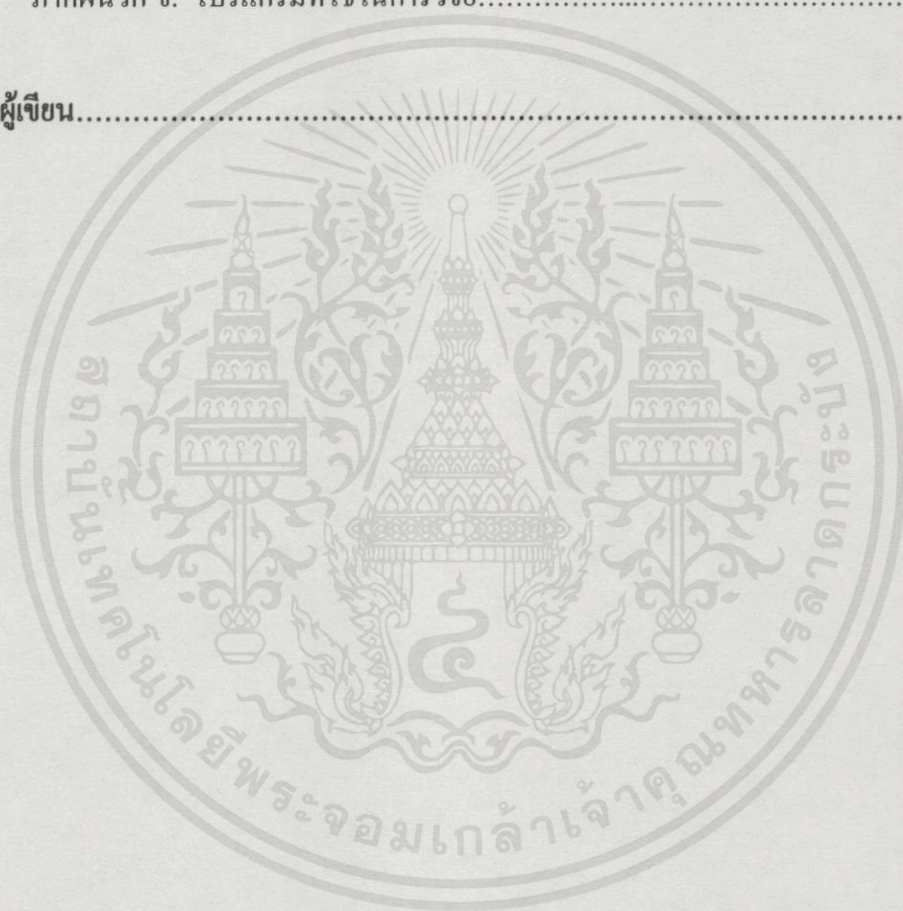
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุม PID.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ตัวควบคุมแบบ PID.....	7
2.3 ทฤษฎีและหลักการควบคุมแบบป้อนกลับ (กริยาควบคุมแบบต่าง ๆ).....	8
2.3.1 กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF.....	9
2.3.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P).....	10
2.3.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I).....	11
2.3.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D).....	12
2.3.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI).....	13
2.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional- Derivative (PD).....	14
2.3.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID).....	15
2.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนอง ของกระบวนการที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน.....	16
2.4.1 การคำนวณจากวิธี Process Reaction Curve.....	17
2.4.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method.....	19
2.4.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....	21
3.1 กล่าวนำ.....	21
3.2 การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ.....	22
3.3 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในการควบคุม.....	26
3.4 แนวคิดการประยุกต์หลักการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในทางปฏิบัติ...32	
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างเครื่องหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	35
4.1 กล่าวนำ.....	35
4.2 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์หาค่า PID ตามหลักการและทฤษฎี.....	35
4.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์.....	38
4.3.1 ส่วนของแผงควบคุม.....	38
4.3.2 ส่วนส่งสัญญาณทดสอบ.....	41
4.3.3 ส่วนรับสัญญาณอินพุต.....	42
4.3.4 ส่วนป้อนสัญญาณอินพุตและส่วนแสดงผล.....	43
4.4 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์.....	44
4.5 การใช้งานเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ...46	
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	47
5.1 กล่าวนำ.....	47
5.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว.....	47
5.3 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	59
5.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีทางปฏิบัติ.....	64
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	68
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	70
6.1 บทสรุป.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	74
ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve.....	18
2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method.....	19
3.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ Dahlin [13].....	29
3.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Cohen-Coon.....	32
3.3 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรท ค่าคลาดเคลื่อน (IAE) สำหรับสัญญาณอินพุทรบกวน (Disturbance Input).....	33
3.4 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรท ค่าคลาดเคลื่อน (IAE) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (Setpoint Change).....	34
5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้จากเครื่องวิเคราะห์ ๑ (Ziegler-Nichols และ Dahlin) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการปรับละเอียด สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง.....	49
5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้จากเครื่องวิเคราะห์ ๑ (Ziegler-Nichols และ Dahlin) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการปรับละเอียด สำหรับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ.....	61
5.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังที่ควบคุมด้วย ค่าพารามิเตอร์ PID ที่คำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยเครื่องวิเคราะห์ ๑ กับวิธีทางปฏิบัติ (เปรียบเทียบกับวิธีของ Ziegler-Nichols).....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป.....	6
2.2 แสดงกิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF.....	9
2.3 แสดงคุณสมบัติของกิริยาการควบคุมแบบ Proportional.....	10
2.4 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Integral.....	12
2.5 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของกิริยาการควบคุมแบบ Derivative.....	12
2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ PI (Direct Action).....	14
2.7 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ PD.....	15
2.8 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ PID.....	15
2.9 (a) แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID.....	16
2.9 (b) แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols.....	17
2.10 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve.....	18
2.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method....	19
2.12 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation.....	20
3.1 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	22
3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป.....	22
3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับทดสอบกระบวนการ.....	23
3.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT หลังจากป้อนสัญญาณแบบ Step.....	24
3.5 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT.....	25
3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบแบบลูปิดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน.....	26
3.7 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่ใช้สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ PID.....	27
3.8 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0	28
4.1 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ.....	37
4.2 แสดงบอร์ด CP-S8252 ของบริษัท ETT.CO.,LTD.....	38
4.3 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ บนบอร์ด CP-S8252.....	39
4.4 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252.....	41
4.5 แสดงวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส.....	42
4.6 แสดงส่วนรับสัญญาณอินพุต.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ.....	43
4.8 แสดงเครื่องต้นแบบเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ.....	44
4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมโปรแกรมมอนิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ.....	44
4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการใช้งานของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ กับกระบวนการต่าง ๆ.....	46
5.1 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ กับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง.....	47
5.2 แสดงโครงสร้างการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว.....	48
5.3 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 73$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	50
5.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 73$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	50
5.5 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 2.2$, $T_i = 44$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	51
5.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 2.2$, $T_i = 44$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	51
5.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$ และ $T_i = 145$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	52
5.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$ และ $T_i = 145$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.9 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$, $T_i = 145\text{sec.}$ และ $T_d = 11\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	53
5.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$, $T_i = 145\text{sec.}$ และ $T_d = 11\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	53
5.11 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 57\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	54
5.12 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 57\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	54
5.13 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 2.6$, $T_i = 51\text{ sec.}$ และ $T_d = 8\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	55
5.14 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 2.6$, $T_i = 51\text{ sec.}$ และ $T_d = 8\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	55
5.15 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี IAE (Setpoint Change) ($K_c = 1.1$ และ $T_i = 149\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	56
5.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธี IAE (Setpoint Change) ($K_c = 2.6$, $T_i = 51\text{ sec.}$ และ $T_d = 8\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	56
5.17 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี IAE (Disturbance) ($K_c = 1.8$ และ $T_i = 63\text{ sec.}$) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธี IAE (Disturbance) ($K_c = 2.3$, $T_i = 40$ sec. และ $T_d = 8$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	57
5.19 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี Fine-Tuning ($K_c = 2.8$ และ $T_i = 35$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	58
5.20 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี Fine-Tuning ($K_c = 2.8$ และ $T_i = 35$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	58
5.21 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	59
5.22 แสดงโครงสร้างการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	59
5.23 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 30$, $T_i = 633$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	61
5.24 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธีของ Dahlin ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 16.9$, $T_i = 1613$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	62
5.25 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธีของ Cohen-Coon ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 34$, $T_i = 252$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	62
5.26 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธี IAE(Setpoint Change) ด้วยพารามิเตอร์ PID ($K_c = 17.4$, $T_i = 1611$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	63
5.27 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธี IAE(Disturbance) ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 32$, $T_i = 358$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 50% ตามวิธี Fine-Tuning ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 15$, $T_i = 450$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.....	64
5.29 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองแบบรูปเปิดและการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง จากวิธี Process Reaction Curve (ความเร็วการบันทึก 600 mm/h.).....	65
5.30 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.5$ และ $T_i = 90$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	66
5.31 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.5$ และ $T_i = 90$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	67
5.32 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 2$, $T_i = 54$ sec. และ $T_d = 13$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

กระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีการควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือ ในการควบคุมกระบวนการผลิตต่าง ๆ จะใช้ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุม (Controller) ควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ ในขณะที่เดียวกันต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากผู้มีประสบการณ์หรือความชำนาญในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสำหรับแต่ละกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามต้องการ โดยตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตก็คือ ตัวควบคุมแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) เป็นเวลากว่า 50 ปีแล้วที่ตัวควบคุม PID ถูกนำมาใช้และได้รับการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่การทำงานของตัวควบคุมเป็นแบบนิวแมติกส์ (Pneumatics) มาเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) [1] และเมื่อเร็ว ๆ นี้ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์มีมากขึ้น ได้มีการนำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างตัวควบคุมด้วยการทำงานเป็นแบบดิจิทัล (Digital) ทำให้งานควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทั่วไป ในการนำตัวควบคุม PID มาควบคุมกระบวนการนั้น ส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้กับวิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีการของ Ziegler-Nichols [2] ซึ่งเป็นวิธีที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม นอกจากนี้วิธีอื่นๆ เช่น วิธีของ G.H. Cohen และ G.A. Coon [3], วิธี Damped Oscillation ของ Harriott [4] เป็นต้น ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน โดยวิธีเหล่านี้นำหลักการของ Ziegler-Nichols มาดัดแปลงเพียงเล็กน้อย

J.G. Ziegler และ N.B. Nichols เสนอกฎสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วยการปรับตัวควบคุมให้ได้ผลตอบสนองของกระบวนการเป็นไปตามเงื่อนไข 2 วิธี คือ วิธี "Ultimate Method" และ "Process Reaction Curve" วิธีแรกต้องการค่าอัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองของระบบหรือกระบวนการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Critical Gain) และคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Oscillation Period) ซึ่งได้จากการควบคุมกระบวนการแบบป้อนกลับ (Closed Loop) ด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional เพียงอย่างเดียว วิธีนี้ระบบจะทำงานใกล้ความไม่เสถียรภาพซึ่งเป็นสิ่งอันตรายและใช้ไม่ได้กับทุกกรณี [5] วิธีที่สองผลตอบสนองของกระบวนการในรูปตัวเอส (S-Shape) ที่ได้จากการทดสอบกระบวนการแบบเปิด (Open Loop) ด้วยสัญญาณขั้นบันได (Step Testing) จะถูกนำมาอธิบายลักษณะของกระบวนการด้วยพารามิเตอร์ (Process Parameter) 3 ค่า คือ อัตราขยายของกระบวนการ (Process Gain) ค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ (Process Dead Time)

และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant) โดยคำนวณหาเวลาของกระบวนการและค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ ถูกประมาณโดยการลากเส้นสัมผัสเส้นโค้งของผลตอบสนอง ณ จุดที่มีความชันสูงสุด ส่วนอัตราขยายของกระบวนการทราบได้เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) วิธีนี้อาจทำให้เกิดการผิดพลาดขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากการลากเส้นสัมผัสและการกำหนดจุดที่มีความชันสูงสุดนี้ [6] อย่างไรก็ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ทั้งสองวิธีนี้ให้ผลดีในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถใช้ได้กับทุกกระบวนการและถ้าต้องการให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการอย่างแท้จริงจะต้องมีการปรับละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง [7] ด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error Method) ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและต้องอาศัยผู้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยในประเทศ โดยบางครั้งต้องว่าจ้างจากต่างประเทศเป็นผลให้มีค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันแม้ว่าจะมีการนำเอาตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองได้แบบอัตโนมัติ (Auto-Tuning หรือ Self-Tuning Controller)[8][9][10] มาใช้ในการควบคุมกระบวนการเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็ตาม แต่เนื่องด้วยตัวควบคุมประเภทนี้มีขีดความสามารถเฉพาะกับงานควบคุมบางประเภทเท่านั้นและมีราคาแพง ประกอบกับกระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศส่วนใหญ่ยังใช้ตัวควบคุมแบบเดิมอยู่ การที่จะต้องเปลี่ยนตัวควบคุมให้เป็นแบบปรับตัวเองได้อัตโนมัติจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้พัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ (Automatic PID Controller Parameter Analyzer) ขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเสริมการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID แก่บุคลากรที่ยังขาดประสบการณ์และความชำนาญในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในอันที่จะลดเวลาและความยุ่งยากที่ต้องสูญเสียไปในการปรับแต่งตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามที่ต้องการ อนึ่งเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัตินี้ ยังสามารถใช้เป็นเครื่องต้นแบบที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบสร้างตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองอัตโนมัติได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมไทยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือเสริมในการควบคุมกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เพื่อลดเวลาและความยุ่งยากในการควบคุมกระบวนการลงและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นจากการวัด นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อตัวควบคุมที่มีราคาแพง (ตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองได้แบบอัตโนมัติ) มาใช้ เครื่องวิเคราะห์ฯ นี้มีขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงและใช้งานได้ง่ายจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือเสริมการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม โดยผู้ใช้ไม่ต้องมีความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการตามหลักคณิตศาสตร์และไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์หรือความชำนาญในการปรับแต่งตัวควบคุมสูงนัก

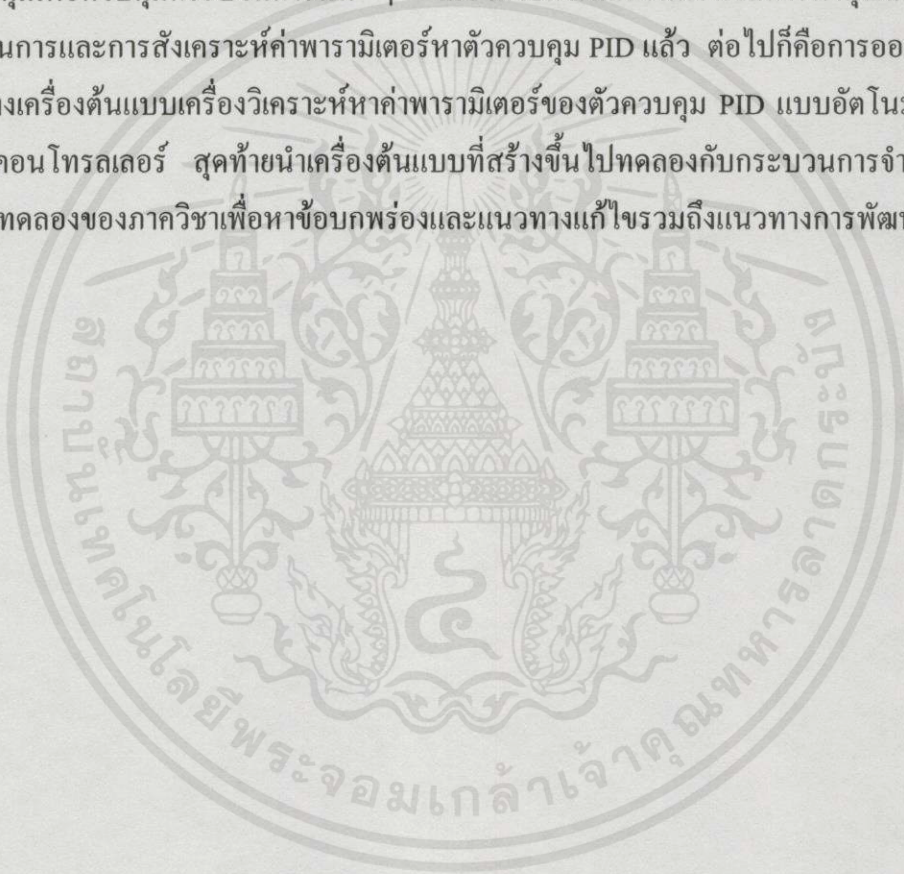
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาและออกแบบเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ซึ่งขั้นตอนทำงานที่สำคัญของเครื่องวิเคราะห์ฯ นี้คือ การหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยกระบวนการจะถูกอนุমানให้เป็นแบบกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-order lag plus dead time : FOPDT) และถูกทดสอบด้วยสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (Unit Step) ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ 3 ค่า คือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการและค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการจะได้รับการพิจารณา ซึ่งค่าพารามิเตอร์ 3 ค่านี้ จะถูกนำไปใช้สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรของ Dahlin [11] การเลือกสูตรการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ PID ของ Dahlin ก็เนื่องจาก วิธีของ Dahlin ให้ค่าพุ่งเกินสูงสุด (Maximum Overshoot) ที่ 5% สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (Setpoint Change) นอกจากนี้เครื่องต้นแบบยังถูกโปรแกรมให้สามารถเลือกใช้การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ PID ตามสูตรของ Ziegler-Nichols ได้อีกด้วย สำหรับในทางปฏิบัติเมื่อเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ หาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการทั้ง 3 ค่าได้แล้ว สามารถนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไปแทนในสูตรหาค่าพารามิเตอร์หาตัวควบคุม PID ตามวิธีอื่น ๆ ได้ เช่น Cohen-Coon, ITAE, IAE, ISE ฯลฯ ซึ่งจะได้เปรียบเทียบให้เห็นในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของตัวควบคุมแบบ PID และวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ ของตัวควบคุม เช่น วิธีการควบคุมแบบ Proportional (P) วิธีการควบคุมแบบ Proportional Integral (PI) ฯลฯ ตลอดจนวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เช่น วิธีของ Ziegler-Nichols ฯลฯ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย จากนั้นเป็นการทำการศึกษาถึงคุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) เพื่อหาวิธีการที่จะใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะนำไปสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการนั้น ๆ เมื่อได้วิธีการและขั้นตอนในการหาคุณลักษณะของกระบวนการและการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์หาตัวควบคุม PID แล้ว ต่อไปก็คือการออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สุดท้ายนำเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดลองกับกระบวนการจำลองที่มีอยู่ในห้องทดลองของภาควิชาเพื่อหาข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขรวมถึงแนวทางการพัฒนาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับด้วย

ตัวควบคุม PID

2.1 กล่าวนำ

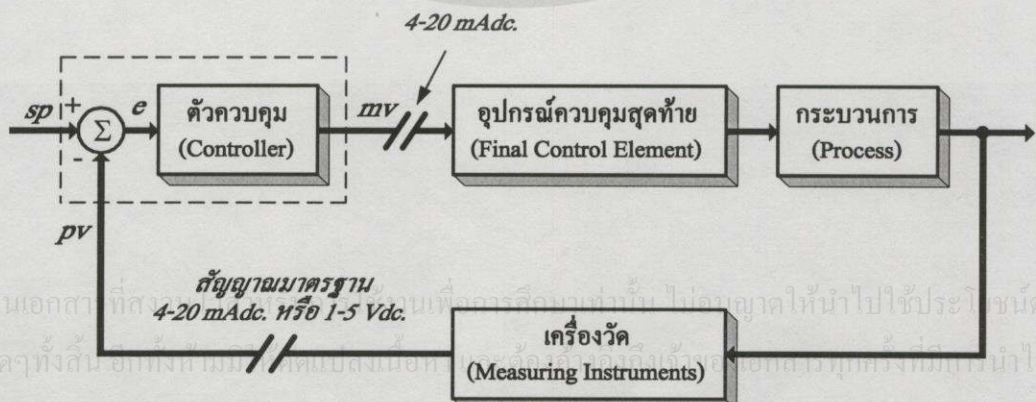
โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม คือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่อุณหภูมิ (Temperature) แรงดัน (Pressure) อัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเป็นกรดด่าง (PH) และอื่น ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสม บางโรงงานอาจจะเลือกใช้การควบคุมแบบง่าย ๆ ด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งอาศัยพนักงาน (Operator) คอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น การควบคุมจะดีหรือไม่อย่างไรจะขึ้นอยู่กับพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงแล้วมนุษย์หรือพนักงานควบคุมไม่สามารถทำงานให้ได้ดีเท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ปัจจุบันโรงงานที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องนำเครื่องควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Controller) มาใช้งาน โดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System)

หลักการของการควบคุมแบบป้อนกลับนั้น เกิดมานานกว่า 2000 ปีแล้ว [13] แต่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งเมื่อประมาณ 200 ปีที่แล้ว James Watt ได้นำหลักการดังกล่าวมาทำการสร้างเครื่องควบคุมความเร็วให้กับเครื่องจักรไอน้ำของเขา จากนั้นอุตสาหกรรมมากมายได้หันมาให้ความสนใจและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ระบบควบคุมแบบปิด หรือ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ” ก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไป ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

1. **ตัวควบคุม (Controller)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ตัวควบคุมจะมีหลายแบบ เช่น ตัวควบคุมแบบ ON-OFF (ตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง) ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) หรือการใช้ตัวควบคุมหลาย ๆ แบบร่วมกัน เช่น ตัวควบคุมแบบ PI ตัวควบคุมแบบ PD และตัวควบคุมแบบ PID เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมคือตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable : mv)
2. **อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element)** คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม
3. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable : pv)
4. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor), ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20 mA dc.) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 V dc.) หรือ สัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว (3-15 psi. หรือ 0.2 - 1.0 Kg/cm²) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากรูปที่ 2.1 อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ (pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของของเหลว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Setpoint : sp) จากนั้นตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error : e) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาสัญญาณที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้ควบคุมกระบวนการมากที่สุดก็คือ ตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งจะใช้เฉพาะ P, PI, PD หรือ PID นั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณลักษณะของกระบวนการ (ซึ่งอาจจะวิเคราะห์ได้จากการเปลี่ยนแปลงของ pv ด้วย)

2.2 ตัวควบคุมแบบ PID

เครื่องควบคุมหรือตัวควบคุมแบบ PID พัฒนามาจากตัวควบคุมแบบ PI ที่สร้างขึ้นในปี 1939 โดยบริษัท Taylor Instrument และบริษัท Foxboro Instrument [1] จากนั้นก็ถูกนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากกว่า 50 ปี โดยแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุมแบบนิวแมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่ทำงานโดยใช้วงจรรวม (Logic Circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม ปัจจุบันตัวควบคุม PID ยังได้รับความนิยมอยู่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรูปแบบของตัวควบคุม PID เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะกระบวนการนั้นจะมีผลตอบสนองต่อความถี่ต่ำ ความถี่กลาง หรือความถี่สูง ตัวควบคุม PID ก็สามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อได้รับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบ P (Proportional) ตัวควบคุมแบบ I (Integral) และตัวควบคุมแบบ D (Derivative) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

$$G_c(s) = K_p + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (2.1)$$

โดยที่ K_p = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain)

K_I = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain)

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D (Derivative Gain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า นอกจากนี้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID ยังนิยมเขียนอยู่ในรูปของ

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.2)$$

โดยที่ K_c = อัตราขยายของตัวควบคุม

T_i = ค่า Integral or Reset Time

T_d = ค่า Derivative or Rate Time

จากสมการ (2.1) และสมการ (2.2) จะเห็นว่า $K_D = K_c T_d$ และ $K_I = K_c / T_i$ และบางครั้งค่า T_i และ T_d อาจเขียนอยู่ในรูปของ τ_i และ τ_D โดยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ทั้ง 3 ค่านี้จะใช้สำหรับปรับให้กับตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการที่ต้องการ ดังนั้น จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุมหรือตัวแปรปรับกระบวนการ (m) ที่ได้จากตัวควบคุม PID จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้าตัวควบคุมหรือตัวแปรกระบวนการ (p) กับสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (sp) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่พนักงานหรือผู้ควบคุมปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (คือ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ K_c , T_i และ T_d ของตัวควบคุม PID นั้นเอง) ซึ่งสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมจะเป็นไปตามกริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ ที่ถูกเลือกใช้ ดังที่จะกล่าวต่อไป

2.3 ทฤษฎีและหลักการการควบคุมแบบป้อนกลับ (กริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ)

การออกแบบระบบควบคุมนั้นต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะของกระบวนการที่ต้องการควบคุมเสียก่อน ซึ่งบางครั้งอาจพิจารณาในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รู้จักกันดี คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน ทั้งนี้ก็เนื่องจากจะได้เลือกชนิดของการควบคุมให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้การควบคุมมีเสถียรภาพ (Stability) และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมจะเป็นไปตามลักษณะของการสร้างสัญญาณที่เรียกว่า “กริยาการควบคุม (Control Action)” กริยาการควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ คือ

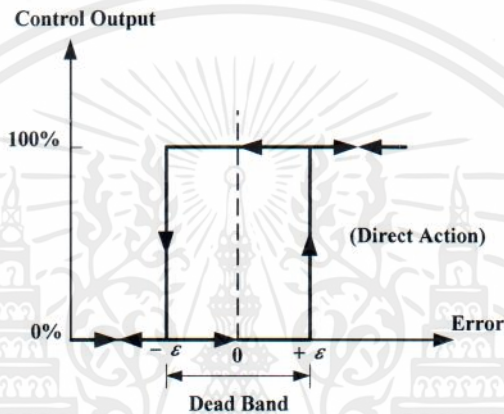
1. กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF
2. กริยาการควบคุมแบบ Proportional
3. กริยาการควบคุมแบบ Integral
4. กริยาการควบคุมแบบ Derivative

กริยาการควบคุมที่ได้กล่าวมามีข้อดีข้อเสียและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงต้องนำเอากริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ มาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการรวมกริยาการควบคุมที่มักพบเห็นเป็นประจำ คือ

5. ฏรียการควบคุมแบบ Proportional-Integral
6. ฏรียการควบคุมแบบ Proportional-Derivative
7. ฏรียการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative

2.3.1 ฏรียการควบคุมแบบ ON-OFF

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและราคาไม่แพง โดยตัวควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะ คือ เปิดกับปิด และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ก็จะมี 2 สถานะ เช่นกัน คือ 0% หรือ 100% ฏรียการควบคุมแบบ ON-OFF แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงฏรียการควบคุมแบบ ON-OFF

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าวิกฤต (Critical Value) หรือ $+\epsilon$ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% ไปเป็น 100% ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดต่ำลงกว่าค่าวิกฤต ($-\epsilon$) ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ดังนั้น จะเห็นว่าก่อนที่ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดเดธแบนด์ (Dead Band) ขึ้นรอบ ๆ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ (Zero Error) โดยในช่วงเดธแบนด์นั้น ค่าเอาต์พุตจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใดซึ่งอาจจะเป็นผลมาจาก การเสียดทานที่ไม่คาดคิดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็ต้องทำให้มีช่วงเดธแบนด์ เพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไป อันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมหรือกระบวนการเกิดการเสียหายได้ แต่ช่วงเดธแบนด์นี้ก็ต้องไม่กว้างนักเพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง ฏรียการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$m(t) = \begin{cases} 0\% & \text{เมื่อ } e < -\epsilon \\ 100\% & \text{เมื่อ } e > +\epsilon \end{cases} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } m(t) &= \text{สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุทของตัวควบคุม} \\ e(t) &= \text{ค่าความคลาดเคลื่อน} \\ \mathcal{E} &= 1/2 \text{ ของค่าเดทเบนด์} \end{aligned}$$

การควบคุมแบบ ON-OFF จะนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงนัก และผลของความคลาดเคลื่อนไม่ส่งผลต่อการควบคุม เช่น การควบคุมอุณหภูมิในตู้เย็น การควบคุมระดับน้ำในถังน้ำทั่วไปตามบ้าน หรือการควบคุมอุณหภูมิในห้อง เป็นต้น นอกจากนี้การควบคุมแบบ ON-OFF ยังนิยมใช้กับกระบวนการที่มีขนาดความจุมาก ๆ อีกด้วย เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดค่าความจุ ทำให้ลดต้นทุนได้อย่างมาก

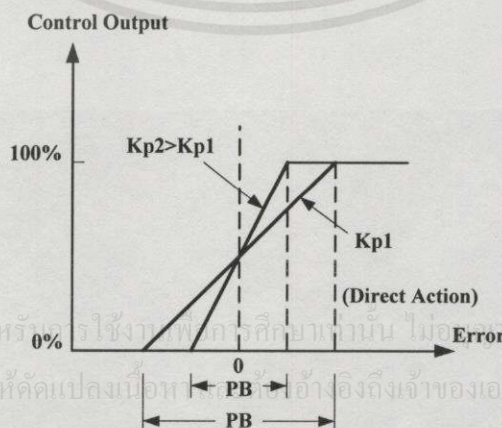
2.3.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

สำหรับการควบคุมที่มีกริยาการควบคุมแบบ P นั้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยค่าเอาต์พุทที่ได้ก็จะน้อยด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวนี้ เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain) กริยาการควบคุมแบบ P สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

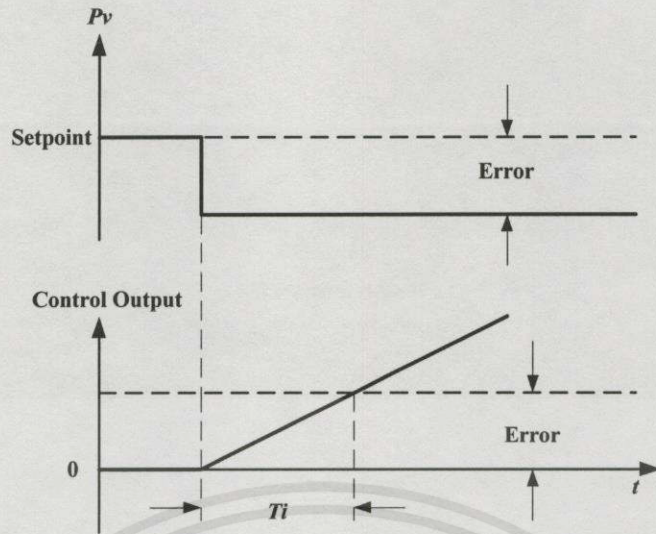
$$m_p(t) = \bar{m} + K_p e(t) \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } m_p(t) &= \text{ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ Proportional} \\ K_p &= \text{อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional} \\ \bar{m} &= \text{ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมเมื่อความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์} \end{aligned}$$

คุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ P แสดงในรูปที่ 2.3



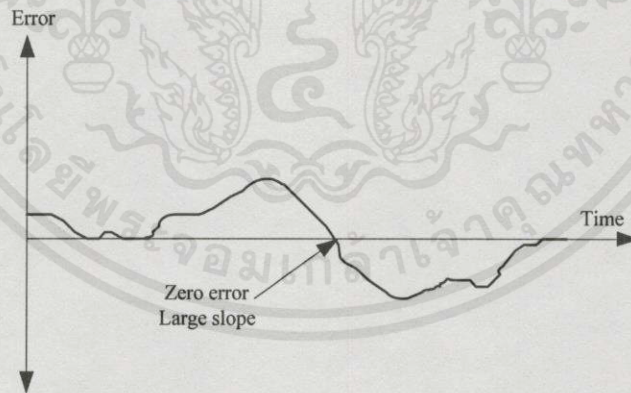
รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional



รูปที่ 2.4 แสดงผลตอบสนองของกรียาการควบคุมแบบ Integral

2.3.4 กรียาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กรียาการควบคุมแบบ D ตัณญาณเอาท์พุทของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา (Time Rate of Change of Error) จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาท์พุทที่สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกรการกระทำดังกล่าวนี้ว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ตามตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของกรียาการควบคุมแบบ Derivative

จากรูป จะเห็นว่าที่ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชันสูง ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ค่าเอาท์พุทเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงตามไปด้วย ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนสามารถประมาณได้โดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน 2 ค่า และหารด้วยเวลาระหว่าง 2 ค่านี้ แล้วนำไปคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D (Derivative Gain) เพื่อหาค่าตัณญาณเอาท์พุทของตัวควบคุม ดังสมการ (2.6)

$$m_D(t) = K_D \frac{[e(t) - e(t_0)]}{(t - t_0)} \quad (2.6)$$

หรือ

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.7)$$

โดยที่ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ D ที่เวลา t
 K_D = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D
 $e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t
 $e(t_0)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t_0

กริยาการควบคุมแบบนี้ เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีเวลาหน่วง (Time Lag) มาก ๆ เพราะสามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อนโดยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีการกระทำเกิดขึ้น จึงช่วยให้ผลตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้นแต่มีข้อเสีย คือ กริยาการควบคุมมีความไวต่อสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะกรณีที่ t_D หรือ K_D มีค่ามาก ซึ่งจะทำให้เกิดค่าพุ่งเกินสูงได้ ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีค่าเวลาหน่วงน้อย ๆ และกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหลหรือระบบควบคุมความดัน เป็นต้น กริยาการควบคุมแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบโดดเดี่ยวได้ เพราะถ้าเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ จะทำให้สัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุมเป็นศูนย์ด้วย

2.3.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่ากริยาการควบคุมแบบ P นั้น จะมีออฟเซ็ทเกิดขึ้น ซึ่งการกำจัดออฟเซ็ทนี้ทำได้โดยการเพิ่มกริยาการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังนั้นสมการสัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นไปตามสมการ (2.8)

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

หรือ

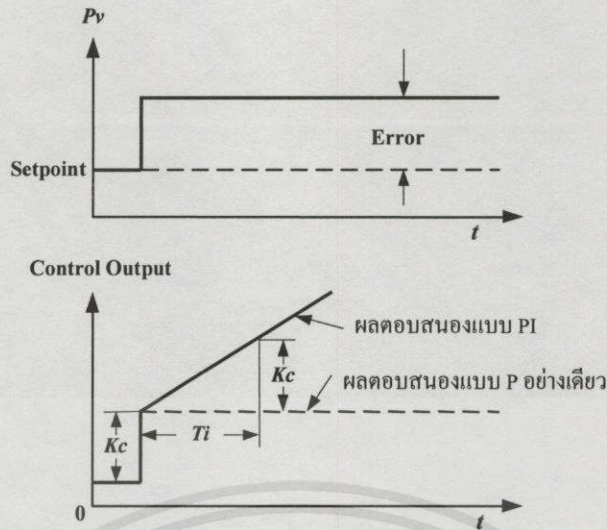
$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.9)$$

เมื่อ

$$K_c = K_p \quad \text{และ} \quad K_I = 1/T_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแบบลงมือทำ และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งก่อนนำไปใช้

T_i = เวลาในการอินทิเกรตหรือเวลารีเซ็ต (Integral or Reset Time)



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct Action)

นอกจากกริยาการควบคุมแบบ PI จะทำให้ค่าออฟเซ็ทที่สถานะคงที่เป็นศูนย์แล้ว ยังช่วยลดค่าพุ่งเกินและการแกว่ง (Oscillation) ของระบบลงได้ แต่จะทำให้ให้ Rise Time และ Settling Time มีค่ามากขึ้น

2.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional – Derivative (PD)

การประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ D ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ P ก็เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองที่สถานะคงที่ ซึ่งสมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังสมการ (2.10)

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

หรือ

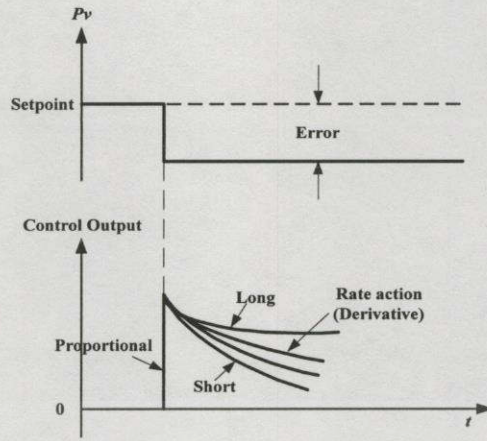
$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

เมื่อ $K_D = T_d$

T_d = ค่าของ Derivative or Rate Time

ข้อเสียของกริยาการควบคุมแบบนี้ก็คือ ไม่สามารถทำให้ออฟเซ็ทของระบบลดลงหรือหมดไปได้และอาจจะทำให้ค่าพุ่งเกินของระบบมีค่าสูงขึ้น ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังรูปที่ 2.7

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD

2.3.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

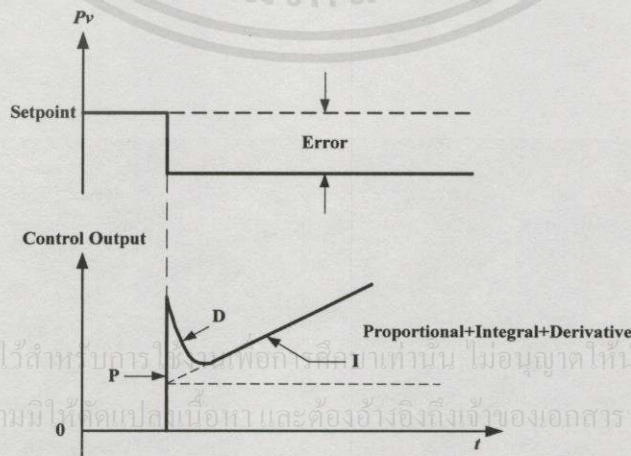
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กริยาการควบคุมแบบ PD ทำให้ระบบมีเสถียรภาพสัมพัทธ์ดีขึ้น (ผลตอบสนองเร็วขึ้น) แต่ไม่สามารถทำให้ค่าคลาดเคลื่อนหรือออฟเซตที่สภาวะคงที่เป็นศูนย์ได้ ส่วนกริยาการควบคุมแบบ PI ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ลดลงหรือหมดไป แต่ทำให้เสถียรภาพสัมพัทธ์ลดลง (Rise Time และ Settling Time มีค่ามากขึ้น) ดังนั้น บางครั้งเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีประสิทธิภาพเป็นไปตามต้องการจึงต้องใช้กริยาการควบคุมทั้งสองแบบร่วมกัน ซึ่งจะทำได้กริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการสัญญาณเอาท์พุท ดังสมการ(2.12)

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.12}$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.13}$$

ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PID แสดงดังรูปที่ 2.8

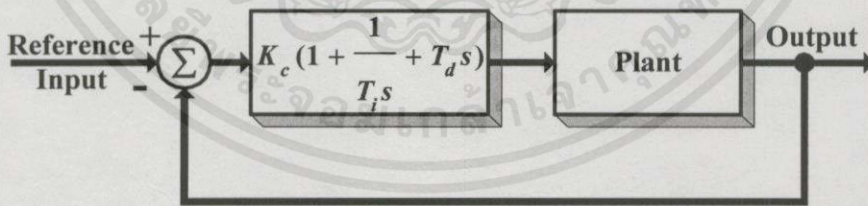


รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PID

2.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนอง ของกระบวนการที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

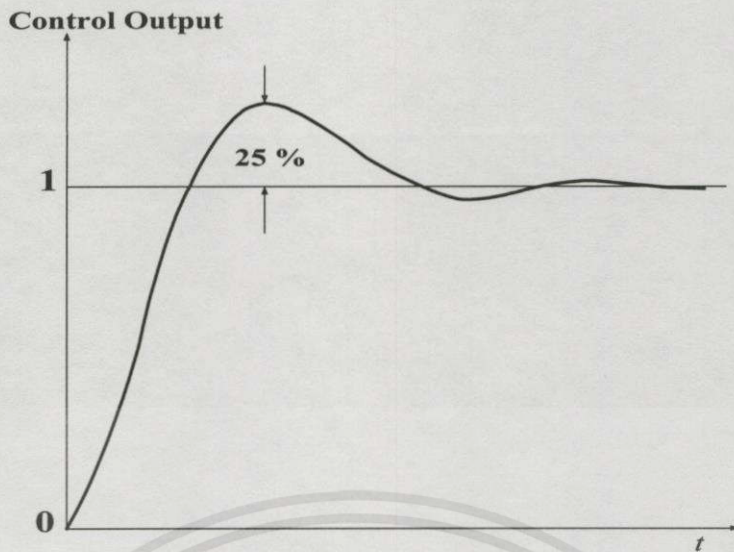
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การนำตัวควบคุม PID ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สามารถทำได้หลายวิธี บางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการทดสอบกระบวนการ เช่น วิธีของ Ziegler-Nichols, วิธีของ Cohen-Coon และวิธีของ Harriott เป็นต้น อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก (Root Locus Method) และโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่ วิธีที่ได้กล่าวมานั้นวิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามวิธีของ Ziegler-Nichols หลายกรณีที่ต้องการการปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่งโดยวิธีการลองผิดลองถูกในอันที่จะได้ผลตอบสนองของระบบที่ต้องการอย่างแท้จริง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเพียงวิธีการปรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ J.G. Ziegles และ N.B. Nichols และวิธี Damped Oscillation ของ Harriott เท่านั้น

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ K_c , T_i และ T_d ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วครู่ของระบบที่ถูกควบคุมที่ได้จากทั้งผลตอบสนองแบบลูปเปิดและผลตอบสนองแบบลูปปิด ซึ่งมี 2 วิธี คือ วิธี “Process Reaction Curve” และวิธี “Ultimate Method” โดยแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุตแบบ Unit Step มีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ดังรูป



รูปที่ 2.9 (a) แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 (b) แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

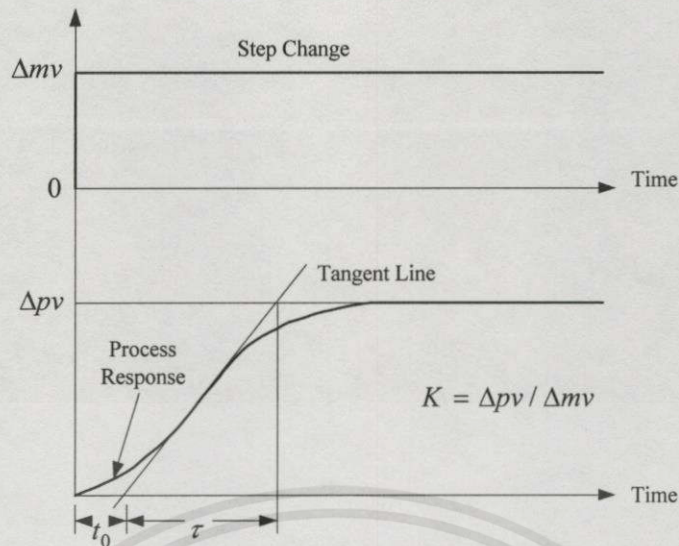
2.4.1 การคำนวณจากวิธี Process Reactive Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูปปิดต่ออินพุทแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้ จะไม่มีโพล (Pole) ที่จุดกำเนิด (Origin) หรือ ไม่มี Dominant Complex Conjugate Poles และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้น ผลตอบสนองของเวลาจะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ผลตอบสนองรูปตัว S นี้จะถูกนำมาอธิบายคุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) ด้วยพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ โดยค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ จะถูกประมาณ โดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Maximum Slope) ดังรูปที่ 2.10 ส่วนค่าอัตราขยายของกระบวนการ ทราบได้เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่

ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งแบบมีกาหน่วงเวลา (FOPDT) คือ

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-\tau_0 s}}{\tau s + 1} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองของรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

Ziegler–Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ที่ใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve ไว้ใน ตารางที่ 2.1

วิธี Process Reaction Curve จะพบเห็นกันบ่อยมากในทางปฏิบัติ ซึ่งผลตอบสนองของกระบวนการที่จะนำมาประมาณค่านั้นได้มาจากการบันทึกค่าโดยเครื่องบันทึก (Recorder) ดังนั้น จะเห็นว่าจะเกิดค่าผิดพลาดได้ง่าย จากการกำหนดจุดที่มีอัตราการเบี่ยงเบนสูงสุด และการลากเส้นสัมผัส ณ จุดนี้ โดยเฉพาะกับผลตอบสนองที่บันทึกด้วยความเร็วการบันทึก (Chart Speed) ต่ำ ๆ เช่น ที่ความเร็วการบันทึก 250/mm./h. หรือ $3600/250 = 14.4 \text{ sec./1 mm.}$ ซึ่งถ้าการกำหนดจุดและลากเส้นผิดพลาดเพียง 1 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าผิดพลาดถึง 14.4 วินาทีเลยทีเดียว จึงเป็นสาเหตุหนึ่งของการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve

Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
Proportional only	P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	-	-
Proportional-Integral	PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$3.33 t_0$	-
Proportional-Integral-Derivative	PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$2.0 t_0$	$0.5 t_0$

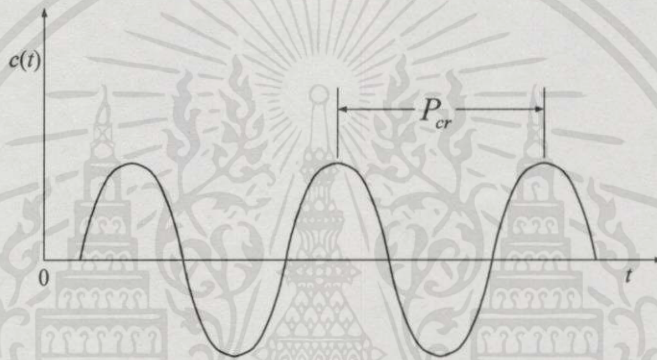
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้าหรือการอื่น ๆ ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

2.4.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P แบบลูปปิดต่ออินพุทแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ K_c ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งผลตอบสนองเวลาของกระบวนการเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ดังรูปที่ 2.11 (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) = อัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) = คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับ โดยใช้วิธี Ultimate Method

วิธีนี้ไม่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากระบบต้องทำงานใกล้ความไม่เสถียรภาพและใช้เวลาค่อนข้างนานมาก โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงมาก ๆ เช่น กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับวิธีนี้ Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ไว้ใน ตารางที่ 2.2

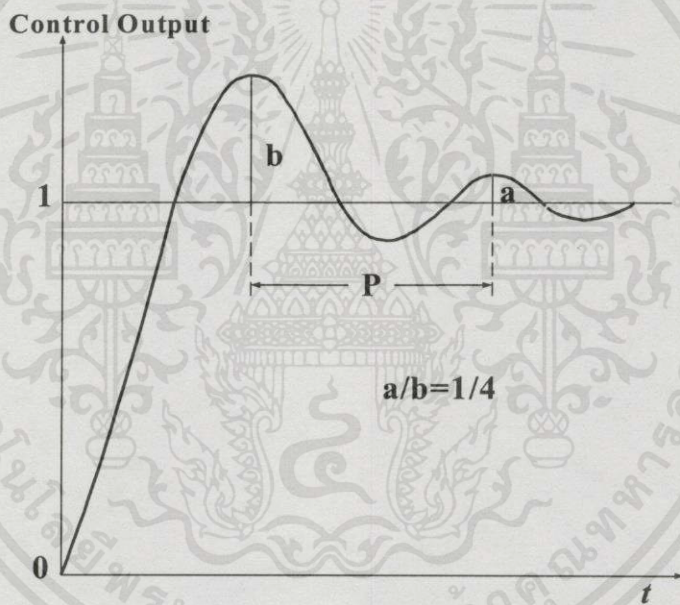
ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method

Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
Proportional only	P	$K_{cr}/2$	-	-
Proportional-Integral	PI	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative	PID	$K_{cr}/1.7$	$T_{cr}/2$	$T_{cr}/8$

2.4.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation

วิธีหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Damped Oscillation เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ K_c ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองเวลาของกระบวนการไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะปรับค่าของ K_c ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูบปิดมีอัตราการเสื่อม (Quarter Decay Ratio) เท่ากับ $1/4$ ดังรูปที่ 2.12 จากนั้นวัดค่าของคาบเวลา P และค่า K_c ที่ปรับจนทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุม มีอัตราการเสื่อมเท่ากับ $1/4$ (สมมติให้เป็น K_{DO}) ไปใช้คำนวณหาค่า K_c , T_i และ T_d ดังนี้

$$K_c = K_{DO}(1/4), T_i = P/1.5 \text{ และ } T_d = P/6 \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.12 แสดงค่าอัตราการเสื่อม $1/4$ เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

3.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์และออกแบบการควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมหรือระบบควบคุมที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งหมด เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของกระบวนการ เมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมภายนอกหรือได้รับการควบคุมจากเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ในอันที่จะได้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไป การศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระบวนการที่ใช้กันอยู่ มี 2 วิธี คือ

1. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการทดสอบ วิธีนี้การวิเคราะห์กระบวนการสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดและเครื่องควบคุมทดลองป้อนสัญญาณเข้าและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งผลของสัญญาณขาออกนี้จะนำไปพยากรณ์หรือประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เพื่ออธิบายคุณลักษณะกระบวนการต่อไป

2. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ วิธีนี้การวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์และกระบวนการจะถูกแสดงในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการพีชคณิต สมการอนุพันธ์ (Differential Equation) และสมการความแตกต่าง (Difference Equation) และวิเคราะห์คุณสมบัติของกระบวนการจากการหาคำตอบของสมการเหล่านี้

การศึกษารวมธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ซึ่งเป็นปัญหามากสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์น้อย ดังนั้น ในทางปฏิบัติระบบควบคุมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยวิธีการทดลองป้อนสัญญาณเข้าให้กระบวนการ เพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้นในสภาพความเป็นจริงและนำค่าพารามิเตอร์หรือค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์

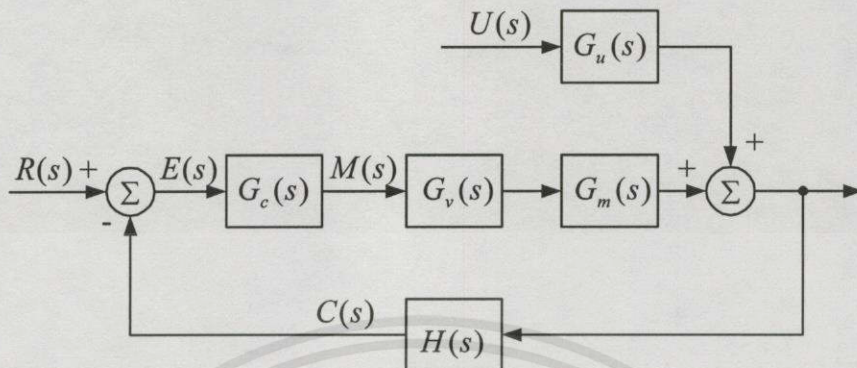
เอกสารค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เมื่อ $R(s)$ = การแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ของค่าอินพุตอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย

$E(s)$ = การแปลงลาปลาซของค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

$M(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม

$C(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณขาออกของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

$U(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณรบกวน (Disturbance)

$G_c(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม

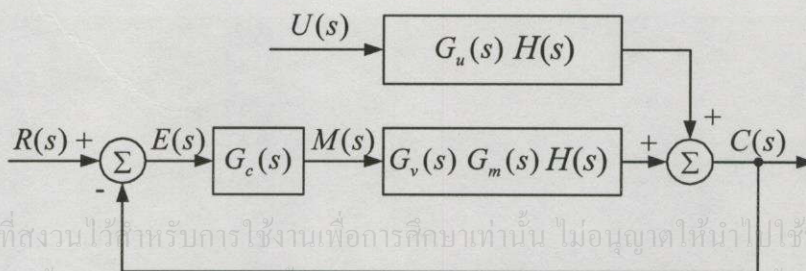
$G_v(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของวาล์วควบคุม (อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย)

$G_m(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการระหว่างตัวแปรควบคุม (Process Variable) และตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable)

$G_u(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการระหว่างตัวแปรควบคุมและสัญญาณรบกวน

$H(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 3.1 สามารถลดรูปให้เข้าใจง่าย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ การรวมกันของ $G_v(s)G_m(s)H(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการดังนี้

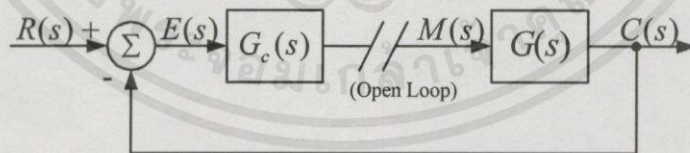
$$G(s) = G_v(s)G_m(s)H(s) \quad (3.1)$$

และโดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะถูกอนุมานให้เป็นรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-order Lag Plus Dead Time (FOPDT)) เนื่องจากการอนุมานที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม [12] ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการแบบ FOPDT แสดงตามสมการ (3.2)

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (3.2)$$

โดยที่ K = อัตราการขยายของกระบวนการ (Process Gain)
 t_0 = ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ (Process Dead Time)
 τ = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant)

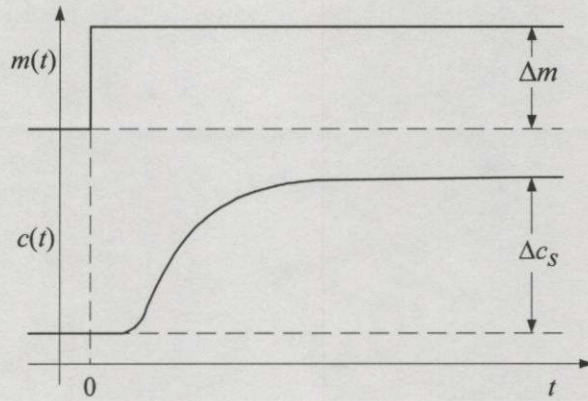
จากสมการ (3.2) จะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของกระบวนการอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบกระบวนการ เนื่องจากคุณลักษณะของกระบวนการเป็นเพียงค่าของกระบวนการเท่านั้น ไม่ใช่ทั้งรูปการควบคุม ดังนั้น ในการทดสอบจะกระทำเฉพาะส่วนของกระบวนการ นั่นคือ ทำการทดสอบแบบรูปเปิด หรือแบบไม่มีการป้อนกลับ และไม่พิจารณาสิ่งรบกวน โดยการป้อนสัญญาณ $M(s)$ แบบ Step ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับทดสอบกระบวนการ

จากการทดสอบจะได้ผลตอบสนองของกระบวนการในรูปตัว S ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งรูปแบบของผลตอบสนองนี้จะครอบคลุมไปถึงกระบวนการอันดับสอง และกระบวนการอันดับสูง (Second and Higher-Order Process) ที่มีอัตราหน่วง (Damping Ratio) เท่ากับหรือมากกว่าหนึ่งได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำขึ้นโดยบริษัทหรือหน่วยงานใด ๆ
 ไม่ว่าจะฟรีหรือไม่ก็ตาม มิฉะนั้นห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT หลังจากป้อนสัญญาณแบบ Step

จากรูปที่ 3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของผลตอบสนองกระบวนการ คือ

$$C(s) = G(s)M(s) \quad (3.3)$$

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุม Δm และกระบวนการตามรูปแบบของ FOPDT ในรูปของการแปลงลาปลาซ จะได้

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \cdot \frac{\Delta m}{s} \\ &= K\Delta m e^{-t_0s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \end{aligned} \quad (3.4)$$

แปลงผกผันลาปลาซให้อยู่ในรูปโดเมนเวลา จะได้ว่า

$$\Delta c(t) = K\Delta m u(t-t_0) \left[1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right] \quad (3.5)$$

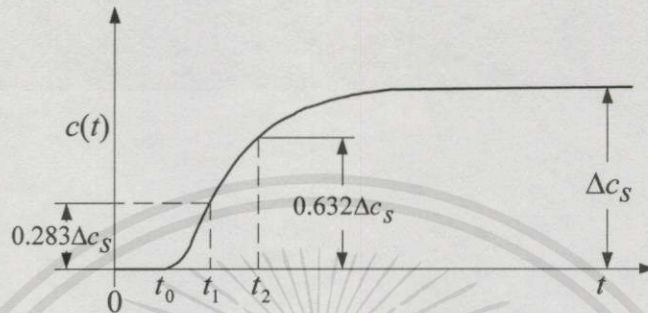
โดย $\Delta c(t) = c(t) - c(0)$ เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตของกระบวนการจากค่าสถานะเริ่มต้น (Initial Value) ส่วนฟังก์ชัน Unit Step ($u(t-t_0)$) เป็นพจน์ที่กำหนดที่ทำให้ $\Delta c(t) = 0$ ที่เวลา $t \leq t_0$ ดังนั้นเมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่ที่สถานะคงที่ (Steady State)

$$\Delta c_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta c(t) = K\Delta m \quad (3.6)$$

ดังนั้นสามารถหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ คือ ค่าอัตราขยายได้เป็นค่าแรก คือ

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (3.7)$$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่เหลือคือ τ และ t_0 สามารถหาได้โดยการประมาณค่า (Curve Fitting) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT

พิจารณาที่เวลา $t = (t_0 + \tau)$ และ $t = (t_0 + \tau/3)$ แทนในสมการ (3.5) จะได้

$$\begin{aligned} \Delta c(t_0 + \tau) &= K\Delta m(1 - e^{-1}) = 0.632\Delta c_s \\ \Delta c(t_0 + \frac{\tau}{3}) &= K\Delta m(1 - e^{-1/3}) = 0.283\Delta c_s \end{aligned} \quad (3.8)$$

กำหนดให้เวลาที่ $t = (t_0 + \tau/3)$ และ $t = (t_0 + \tau)$ เป็น t_1 และ t_2 ตามลำดับ คือ

$$\begin{aligned} t_1 &= t_0 + \frac{\tau}{3} \\ t_2 &= t_0 + \tau \end{aligned} \quad (3.9)$$

ดังนั้น

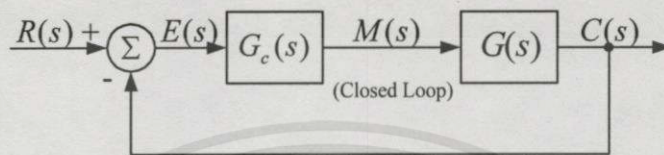
$$\begin{aligned} t_0 &= t_2 - \tau \\ \tau &= \frac{3}{2}(t_2 - t_1) \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } t_1 &= \text{เวลาที่ } \Delta c = 0.283\Delta c_s \\ t_2 &= \text{เวลาที่ } \Delta c = 0.632\Delta c_s \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้ง 3 ค่า คือ K , τ และ t_0 นี้ จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID คือ ค่า K_c , T_i และ T_d ที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม ดังที่จะได้
กล่าวต่อไป

3.3 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในการควบคุม

การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการโดยการทดสอบดังที่กล่าวมา จะพิจารณาในลักษณะลูปเปิด ซึ่งต่างจากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ทำการพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบลูปปิด เนื่องจากต้องพิจารณารวมไปถึงตัวควบคุมด้วย ดังนั้น จากรูปที่ 3.1 ระบบควบคุมแบบลูปปิด เมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวนจะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบแบบลูปปิดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน

จากรูปที่ 3.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิด คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (3.11)$$

จัดสมการ (3.11) ให้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ คือ

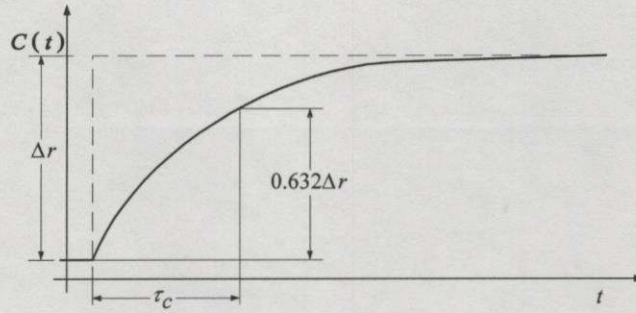
$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{C(s)/R(s)}{1 - [C(s)/R(s)]} \quad (3.12)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จะใช้สำหรับสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

ในการควบคุมกระบวนการหนึ่ง ๆ ผู้ควบคุมย่อมต้องการให้กระบวนการมีผลตอบสนองแบบลูปปิดต่อการควบคุมตามต้องการที่จำทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากกระบวนการได้ ซึ่งผลตอบสนองแบบเปิดของระบบควบคุมที่เข้าใกล้ความต้องการของผู้ควบคุมมากที่สุด ก็คือ ระบบควบคุมแบบเปิดที่ให้ผลตอบสนองเป็นแบบ First Order Lag ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อ τ_c คือ ค่าเวลากงที่ของผลตอบสนองแบบวงปิดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงผลตอบสนองแบบปัดที่ใช้สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ PID

จากรูป จะเห็นได้ว่าค่า τ_c เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ ซึ่งถ้า τ_c มีค่าน้อย ผลตอบสนองก็จะเข้าใกล้ค่าเป้าหมายเร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (3.13) ในสูตรสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม (สมการ (3.12)) จะได้

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{\tau_c s + 1}} = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{\tau_c s + 1}{\tau_c s + 1 - 1}$$

หรือ

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \quad (3.14)$$

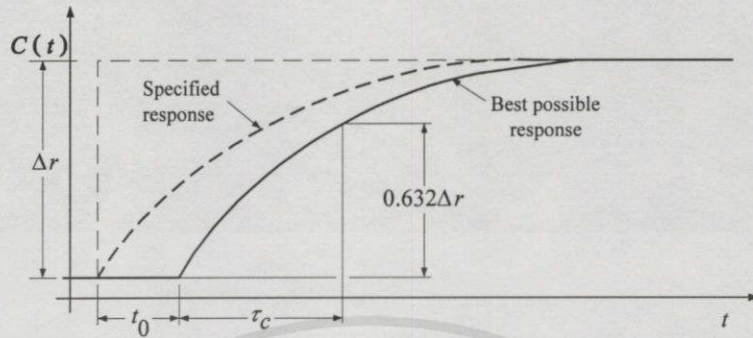
สมการ (3.14) มีพจน์ของอินทิกรัลอยู่ในฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งจะส่งผลให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยไม่มีค่าออฟเซ็ท

แทนค่าสมการ (3.2) ในสมการ (3.14) เพื่อสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสำหรับกระบวนการแบบ FOPDT จะได้

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \\ &= \frac{\tau}{K \tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) e^{t_0 s} \end{aligned} \quad (3.15)$$

พิจารณาสมการ (3.15) ในโดเมนเวลาจะพบว่าค่าการหน่วงเวลา t_0 เป็นลบ ส่งผลให้ไม่สามารถทำให้เป็นตัวควบคุมที่เป็นจริงได้ เนื่องจากต้องการการทำนายค่าเวลา t_0 ล่วงหน้า ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเทียบกับผลตอบสนองแบบปัด ที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0 คือ (พิจารณารูปที่ 3.8)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \quad (3.16)$$



รูปที่ 3.8 แสดงผลตอบสนองแบบปัดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0

ดังนั้นจากสมการ (3.2), (3.12) และสมการ (3.16) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมตามกระบวนการแบบ FOPDT คือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \cdot \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}}$$

หรือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (3.17)$$

เทอมเอ็กโพเนนเชียล ($e^{-t_0 s}$) สามารถประมาณค่าได้โดยอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series Expansion) คือ

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s + \frac{1}{2!} (t_0 s)^2 - \frac{1}{3!} (t_0 s)^3 + \dots \quad (3.18)$$

ใช้เฉพาะ 2 เทอมแรก คือ $1 - t_0 s$ (สำหรับกระบวนการอันดับหนึ่ง) แทนในสมการ (3.17) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{(\tau_c + t_0)s}$ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและตัวอย่างอื่นใดถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการน (3.19)

$$= \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right)$$

จากสมการ (3.19) แสดงให้เห็นว่า จากกระบวนการที่เป็นแบบ FOPDT เมื่อนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะได้เป็นตัวควบคุมแบบ PI เท่านั้น โดยมีค่าพารามิเตอร์ คือ

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad \text{และ} \quad T_i = \tau \quad (3.20)$$

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบลูบปิดของ Dahlin ตามกระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ดังนี้

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)}, \quad T_i = \tau \quad \text{และ} \quad T_d = \frac{t_0}{2} \quad (3.21)$$

ข้อแนะนำ สูตรสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ Dahlin ในโหมด PID ควรใช้เมื่อค่า t_0 มากกว่า $\pi/4$ ครั้นนอกเหนือจากนี้ ควรใช้การควบคุมแบบ PI และสำหรับความต้องการการควบคุมให้ค่าพุ่งเกินมีค่าไม่เกิน 5% สำหรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายแนะนำให้ใช้ $\tau_c = t_0$ ดังนั้นที่ความต้องการค่าพุ่งเกิน 5%

$$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + t_0)} = \frac{0.5 \left(\frac{\tau}{t_0} \right)}{K} \quad (3.22)$$

โหมดการควบคุมและสูตรหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ PID ของ Dahlin แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ Dahlin [13]

Process	Controller Type	Tuning Parameters
$G(s) = K$	P	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ tunable
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PI	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}, T_i = \tau$ tunable
$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ $\tau_1 > \tau_2$	PID	$K_c = \frac{\tau_1}{K\tau_c}, T_i = \tau_1, T_d = \tau_2$ tunable
$G(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$	PID ^a	$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_c)}, T_i = \tau, T_d = \frac{t_0}{2}$ tunable

^a ใช้ได้ทั้งตัวควบคุมแบบ PID และ PI ($T_d=0$) โดยตัวควบคุมแบบ PID ใช้เมื่อค่า t_0 มากกว่า $\pi/4$

3.4 แนวคิดและการประยุกต์หลักการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในทางปฏิบัติ

จากหัวข้อ 3.2 พบว่าการหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการจากการทดสอบ ต้องรอให้ผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งในหัวข้อนี้จะนำเสนอแนวคิดในการหาค่าคุณลักษณะหรือค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยไม่ต้องรอให้ผลตอบสนองเข้าสู่สภาวะคงที่ด้วยการทดสอบด้วยสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit Step)

มองกระบวนการเป็นแบบ FOPDT และพิจารณาผลตอบสนองเมื่อช่วงเวลาหน่วง t_0 ของกระบวนการผ่านไป แล้ว ดังนั้นจากสมการ (3.5) สามารถตัดเทอม $u(t-t_0)$ ออกไปได้ คือ

$$\Delta c(t) = K\Delta m \left[1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right] \quad (3.23)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของค่าเวลาคงที่ τ

$$\tau = \frac{-(t-t_0)}{\ln[1 - \Delta c(t) / K\Delta m]} \quad (3.24)$$

เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตแบบ Step ทดสอบกระบวนการ โดยกำหนดให้ $\Delta m=1$ การกำหนดให้สัญญาณ $\Delta m=1$ ในทางปฏิบัติ สามารถทำได้โดยเลือกค่าสัญญาณที่ใช้ทดสอบกระบวนการที่ระดับ 2 โวลต์ ซึ่งจะได้สัญญาณแตกต่างจากสัญญาณมาตรฐานต่ำสุด (1 โวลต์) อยู่ 1 โวลต์ (สัญญาณเอาต์พุตมาตรฐานของตัวควบคุม คือ 4-20 mA dc. หรือ 1-5 V dc.) ดังนั้นค่า Δm จะมีขนาดเท่ากับ 1 หน่วย และเมื่อกระบวนการเริ่มตอบสนอง ทำการสุ่มค่าผลตอบสนองของสัญญาณเป็นเวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ จะได้

$$\text{ที่เวลา } t_1 \quad \tau = \frac{-(t_1 - t_0)}{\ln[1 - \Delta c_1 / K]} \quad (3.25)$$

$$\text{ที่เวลา } t_2 \quad \tau = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln[1 - \Delta c_2 / K]} \quad (3.26)$$

เนื่องจาก τ เป็นค่าเวลาคงที่ของกระบวนการเดียวกัน ดังนั้น

$$\frac{-(t_1 - t_0)}{\ln[1 - \Delta c_1 / K]} = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln[1 - \Delta c_2 / K]} \quad (3.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ (3.27) การคำนวณค่า τ จากสมการ (3.27) จะได้ว่า τ เป็นค่าเวลาคงที่ของกระบวนการเดียวกัน ดังนั้น

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$(1 - \Delta c_2 / K)^{(t_1 - t_0)} = (1 - \Delta c_1 / K)^{(t_2 - t_0)} \quad (3.28)$$

ถ้าให้ n เป็นจำนวนเต็มบวกใด ๆ และให้ช่วงเวลาในการสุ่มข้อมูล (Sampling Data) เป็นไปตามสมการ (3.29) แทนในสมการ (3.28) จะได้สมการ (3.30)

$$t_1 = \frac{(n+1)}{n} t_0 \text{ และ } t_2 = \frac{(n+2)}{n} t_0 \quad (3.29)$$

แทนสมการ (3.29) ในสมการ (3.28) จะได้ว่า

$$(1 - \Delta c_2 / K)^{\left(\frac{(n+1)}{n} t_0 - t_0\right)} = (1 - \Delta c_1 / K)^{\left(\frac{(n+2)}{n} t_0 - t_0\right)}$$

หรือ

$$(1 - \Delta c_2 / K) = (1 - \Delta c_1 / K)^2 = 1 - 2(\Delta c_1 / K) + (\Delta c_1 / K)^2 \quad (3.30)$$

ดังนั้น

$$K = \frac{\Delta c_1^2}{2\Delta c_1 - \Delta c_2} \quad (3.31)$$

และที่เวลาใด ๆ ที่ $\Delta m = 1$

$$\tau = \frac{-(t - t_0)}{\ln(1 - \Delta c(t) / K)} \quad (3.32)$$

ในหัวข้อนี้จะเห็นว่า เมื่อป้อนสัญญาณทดสอบกระบวนการ Δm ให้มีขนาดเท่ากับหนึ่งหน่วย ($\Delta m = 1$) สามารถหาค่าคุณลักษณะหรือพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ โดยไม่ต้องรอให้ผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ คือ K และ τ ตามสมการ (3.31) และ (3.32) ตามลำดับ ส่วนค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ t_0 สามารถหาได้ด้วยการจับเวลา หลังจากกระบวนการได้รับสัญญาณทดสอบจนกระทั่งกระบวนการเริ่มตอบสนอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ได้นี้ไปใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรของ Dahlin ดัง

ตารางที่ 3.1 และสูตรของ Ziegler-Nichols (ตารางที่ 2.1) ตามการเลือกใช้ นอกจากการใช้สูตรหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ Dahlin และ Ziegler-Nichols แล้ว ในทางปฏิบัติ เมื่อเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ หาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการทั้ง 3 ค่า ได้แล้ว สามารถนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตามวิธีอื่น ๆ ได้ เช่น วิธี Cohen-Coon, IAE (Integral Absolute Error), ITAE (Integral of Time Absolute Error) และ ISE (Integral Square Error) ได้ตามต้องการ โดยสูตรการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ Cohen-Coon แสดงในตารางที่ 3.2 ส่วนสูตรการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตามวิธี IAE, ITAE และ ISE แสดงในตารางที่ 3.3-3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Cohen-Coon

Controller Type	Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
P	$\frac{1}{K} \cdot \frac{\tau}{t_0} \left(1 + \frac{t_0}{3\tau} \right)$	-	-
PI	$\frac{1}{K} \cdot \frac{\tau}{t_0} \left(0.9 + \frac{t_0}{12\tau} \right)$	$t_0 \frac{30 + 3t_0/\tau}{9 + 20t_0/\tau}$	-
PID	$\frac{1}{K} \cdot \frac{\tau}{t_0} \left(\frac{4}{3} + \frac{t_0}{4\tau} \right)$	$t_0 \frac{32 + 6t_0/\tau}{13 + 8t_0/\tau}$	$t_0 \frac{4}{11 + 2t_0/\tau}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรตค่าคลาดเคลื่อน (IAE) สำหรับสัญญาณอินพุทรบกวน (Disturbance Input)

Process Model: $G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{s+1}$			
Proportion(P) Controller			
Error Integral	ISE	IAE	ITAE
$K_c = \frac{a}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^b$	$a=1.411$	0.902	0.490
	$b=-0.917$	-0.985	-1.084
Proportion-Integral(PI) Controller			
Error Integral	ISE	IAE	ITAE
$K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1}$	$a_1=1.305$	0.984	0.859
	$b_1=-0.959$	-0.986	-0.977
$T_i = \frac{\tau}{a_2} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_2}$	$a_2=0.492$	0.608	0.674
	$b_2=0.739$	0.707	0.680
Proportion-Integral-Derivative(PID) Controller			
Error Integral	ISE	IAE	ITAE
$K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1}$	$a_1=1.495$	1.435	1.357
	$b_1=-0.945$	-0.921	-0.947
$T_i = \frac{\tau}{a_2} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_2}$	$a_2=1.101$	0.878	0.842
	$b_2=0.771$	0.749	0.738
$T_d = a_3 \tau \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_3}$	$a_3=0.560$	0.482	0.381
	$b_3=1.006$	1.137	0.995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรตค่าคลาดเคลื่อน (IAE) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (Setpoint Change)

Process Model: $G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{s+1}$		
Proportion-Integral (PI) Controller		
Error Integral $K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1}$ $T_i = \frac{\tau}{a_2 + b_2(t_0 / \tau)}$	IAE $a_1 = 0.758$ $b_1 = -0.861$ $a_2 = 1.02$ $b_2 = -0.323$	ITAE 0.586 -0.916 1.03 -0.165
Proportion-Integral-Derivative (PID) Controller		
Error Integral $K_c = \frac{a_1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1}$ $T_i = \frac{\tau}{a_2 + b_2(t_0 / \tau)}$ $T_d = a_3 \tau \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_3}$	IAE $a_1 = 1.086$ $b_1 = -0.869$ $a_2 = 0.740$ $b_2 = -0.130$ $a_3 = 0.348$ $b_3 = 0.914$	ITAE 0.965 -0.855 0.769 -0.147 0.308 0.9292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 กล่าวนำ

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นนี้ ถูกออกแบบให้ทำงานด้วยการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมให้ทำงานตามหลักการทั้งหมดที่กล่าวมา ซึ่งการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างทำให้เครื่องวิเคราะห์ ฯ ที่ได้มีขนาดเล็กกระทัดรัดและใช้งานได้สะดวก เหมาะสมสำหรับที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือเสริมในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นซีพียูที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในหลายอย่าง เช่น หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ ฯ ซึ่งจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานค่อนข้างง่ายและมีประสิทธิภาพสูง โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป

4.2 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หาค่า PID ตามหลักการและทฤษฎี

จากขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.4 นำไปสู่การเขียนโปรแกรมลงสู่หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณอินพุท ซึ่งเป็นสัญญาณผลตอบสนองของกระบวนการที่ถูกวัดโดยอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ (ทรานสมิตเตอร์) ในรูปของสัญญาณมาตรฐาน 1-5 Vdc. ผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในโปรแกรม หลังจากซีพียูประมวลผลเสร็จแล้วจะแสดงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมบนจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้ ไปใช้ปรับให้กับตัวควบคุมที่จะใช้ในการควบคุมกระบวนการนั้นต่อไป ซึ่งขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เริ่มแรกเครื่องวิเคราะห์ฯ จะสร้างสัญญาณขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย (Unit Step) ในที่นี้คือ สัญญาณระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 2 โวลต์ (ระดับแรงดันนี้จะต่างจากสัญญาณมาตรฐานต่ำสุดอยู่ 1 โวลต์) และระดับแรงดันนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 8 mA dc. โดยวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage to Current Converter, (V/I)) เพื่อเป็นสัญญาณที่จะใช้สำหรับทดสอบกระบวนการ หลังจากสัญญาณนี้ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการ ช่วงแรกกระบวนการยังไม่ตอบสนอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า “ช่วงเวลาหน่วง (Dead Time)” ซึ่งจะถูกวัดและเก็บไว้ในหน่วยความจำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เป็นตัวแปรสำหรับคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ต่อไป

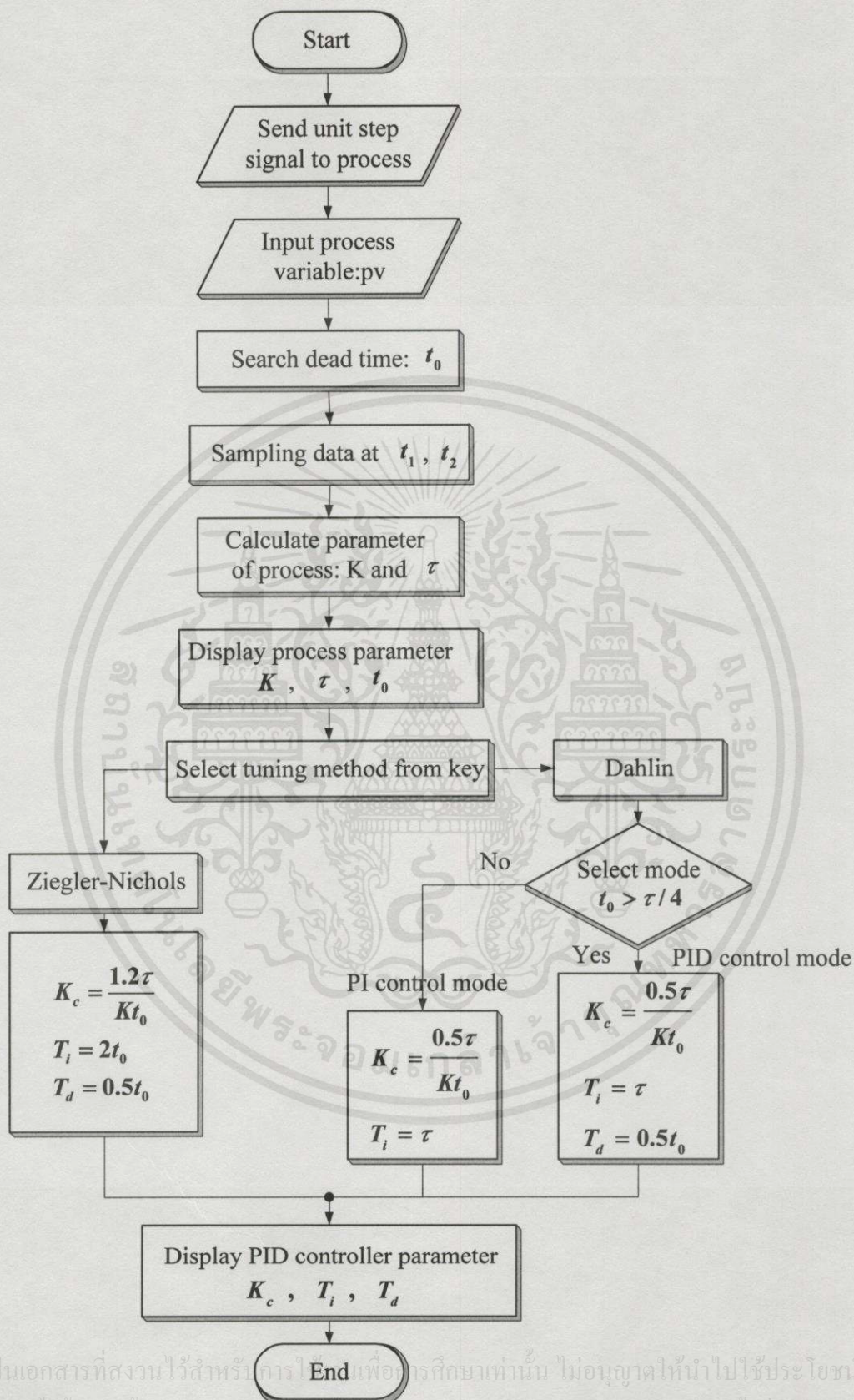
2. นำค่าเวลาหน่วงที่เก็บไว้มาใช้คำนวณหาค่าเวลาที่จะใช้ในการสุ่มข้อมูล ตามสมการที่ 3.29 ซึ่งจะได้ค่าเวลาในการสุ่ม t_1 และ t_2 ตามลำดับ เพื่อใช้สุ่มค่า Δc_1 และ Δc_2 เก็บไว้สำหรับคำนวณค่าอัตราขยายของกระบวนการ

3. นำค่า Δc_1 และ Δc_2 ที่เก็บไว้ไปคำนวณหาค่าอัตราขยายของกระบวนการ K (สมการที่ 3.31) และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ τ (สมการที่ 3.32) เพื่อเก็บไว้สำหรับนำไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ PID ของตัวควบคุมต่อไป ซึ่งจากสมการที่ 3.32 จะเห็นว่าในส่วนของ การคำนวณค่าเวลาคงที่ของกระบวนการจะต้องมีการคำนวณค่าลอการิทึมธรรมชาติ ซึ่งค่าลอการิทึมนี้มีค่าไม่เกิน $\ln 0.63$ ดังนั้น ในทางปฏิบัติการคำนวณค่าลอการิทึมธรรมชาติจะใช้วิธีการเก็บค่าไว้ในตารางเมื่อต้องการคำนวณที่ค่า \ln ใด ๆ ก็เพียงนำค่านั้นไปเปิดตารางเพื่อนำข้อมูลมาใช้ โดยในที่นี้ค่าลอการิทึมจะมีค่าตั้งแต่ $\ln 0.01$ จนถึง $\ln 0.67$ (เพื่อไว้ 0.04)

4. นำค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการทั้ง 3 ค่าที่คำนวณได้ คือ K , t_0 และ τ ไปใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีต่าง ๆ ในที่นี้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ถูกโปรแกรมให้คำนวณค่าพารามิเตอร์ PID ไว้ 2 วิธี คือ วิธีของ Ziegler-Nichols และวิธีของ Dahlin โดยการเลือกจากสวิตช์บนหน้าปัด

5. แสดงผลค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้ตามวิธีที่เลือกใช้

ผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

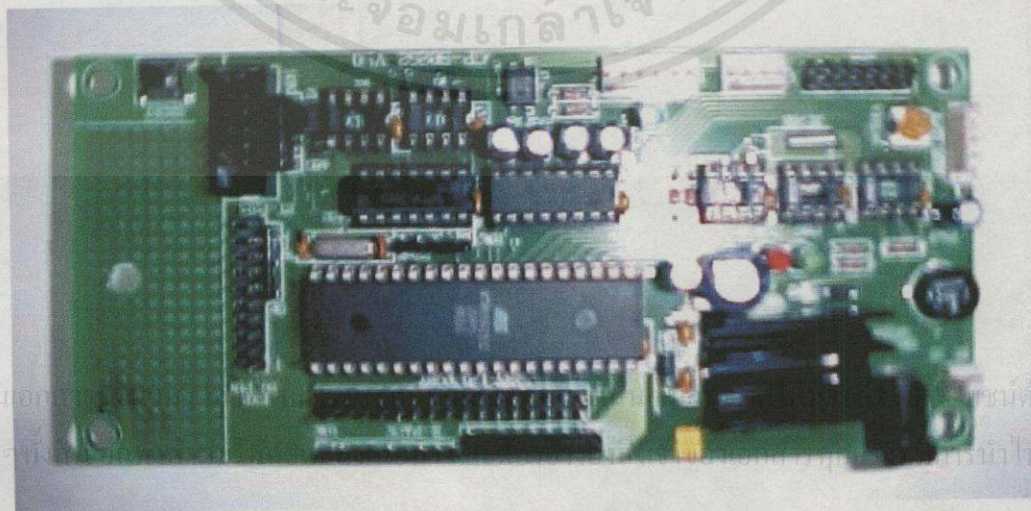
4.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

โครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ สามารถแบ่งตามการออกแบบและการสร้างได้ 4 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ

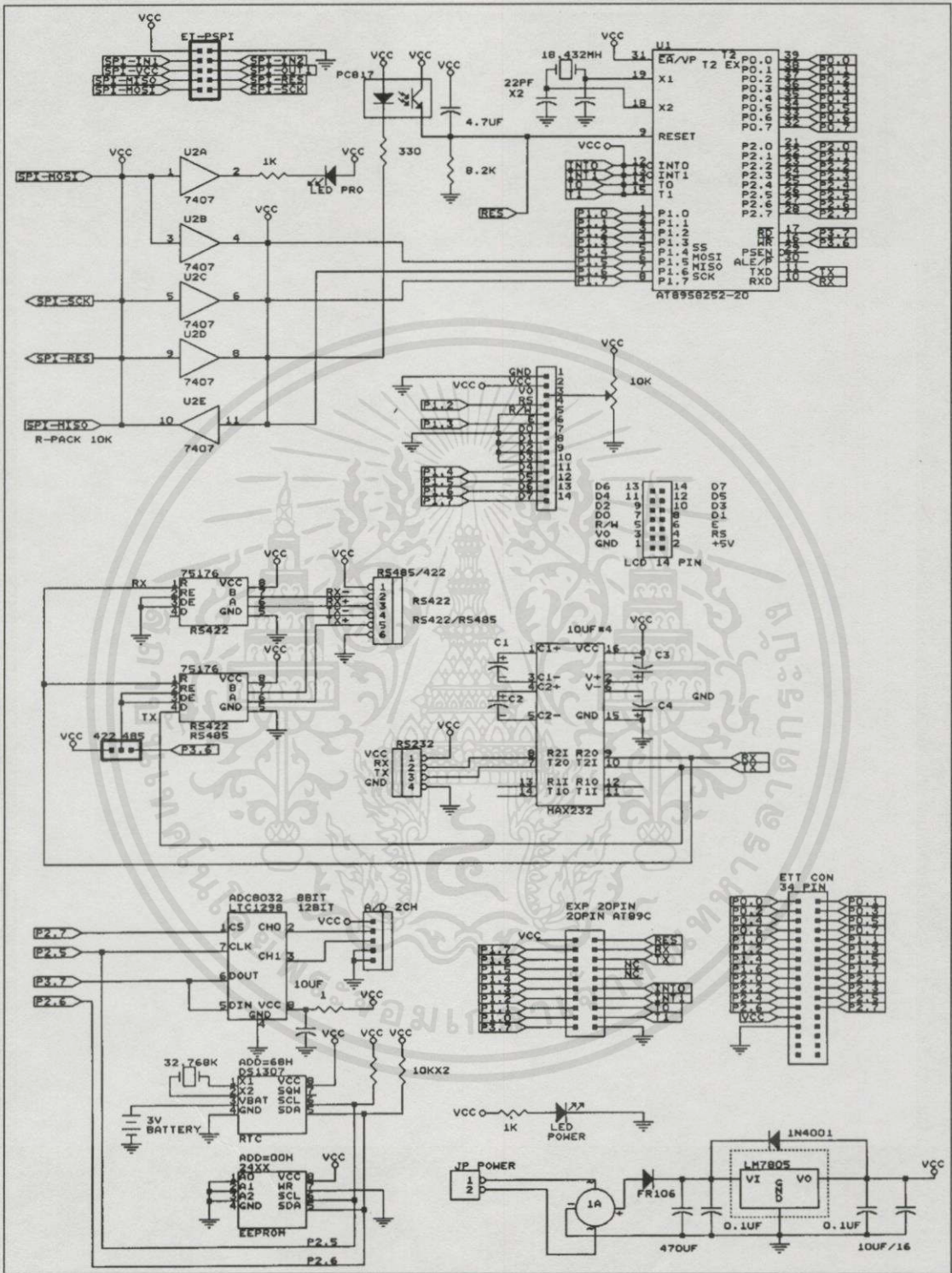
1. ส่วนของแผงควบคุม
2. ส่วนส่งสัญญาณทดสอบ
3. ส่วนรับสัญญาณอินพุท
4. ส่วนป้อนสัญญาณอินพุทและส่วนแสดงผล

4.3.1 ส่วนของแผงควบคุม

ส่วนของแผงควบคุมนี้ทำหน้าที่รับข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล เข้ามาทำการประมวลหาค่าพารามิเตอร์ PID ตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ถูกโปรแกรมไว้ ซึ่งโครงงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้บอร์ดสำเร็จของบริษัท ETT.CO.,LTD รุ่น CP-S8252 V1.0 ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 ของบริษัท ATMEL เป็นชิพของแผงควบคุม บอร์ดรุ่น CP-S8252 นี้ มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมแบบ SPI ได้ คุณสมบัตินี้ทำให้สามารถดาวน์โหลดข้อมูลลงหน่วยความจำของชิพ (AT89S8252) ได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์สำหรับโปรแกรมอื่น ๆ อีก จึงทำให้การพัฒนาโปรแกรมบนบอร์ด CP-S8252 มีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้ออุปกรณ์อื่น ๆ มาช่วยพัฒนาโปรแกรม อีกทั้งยังสามารถใช้ CP-S8252 เป็นเครื่องโปรแกรม AT89S8252 ตัวอื่น ๆ ได้อีก นอกจากนี้บอร์ด CP-S8252 ยังมีขนาดเล็กกระทัดรัดและมีส่วนต่อพ่วงอื่นอีกหลายส่วน เช่น 14 Pin LCD Port, A/D 12 Bit 2 CH LTC 1298(Optional), Real Time Clock RTC DS1307(Optional) ฯลฯ จึงเหมาะสำหรับที่จะนำมาสร้างเครื่องมือวัดได้เป็นอย่างดี บอร์ด CP-S8252 และส่วนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงบอร์ด CP-S8252 ของบริษัท ETT.CO.,LTD



รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ บนบอร์ด CP-S8252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดทางด้านฮาร์ดแวร์ของบอร์ด CP-S8252 V1.0

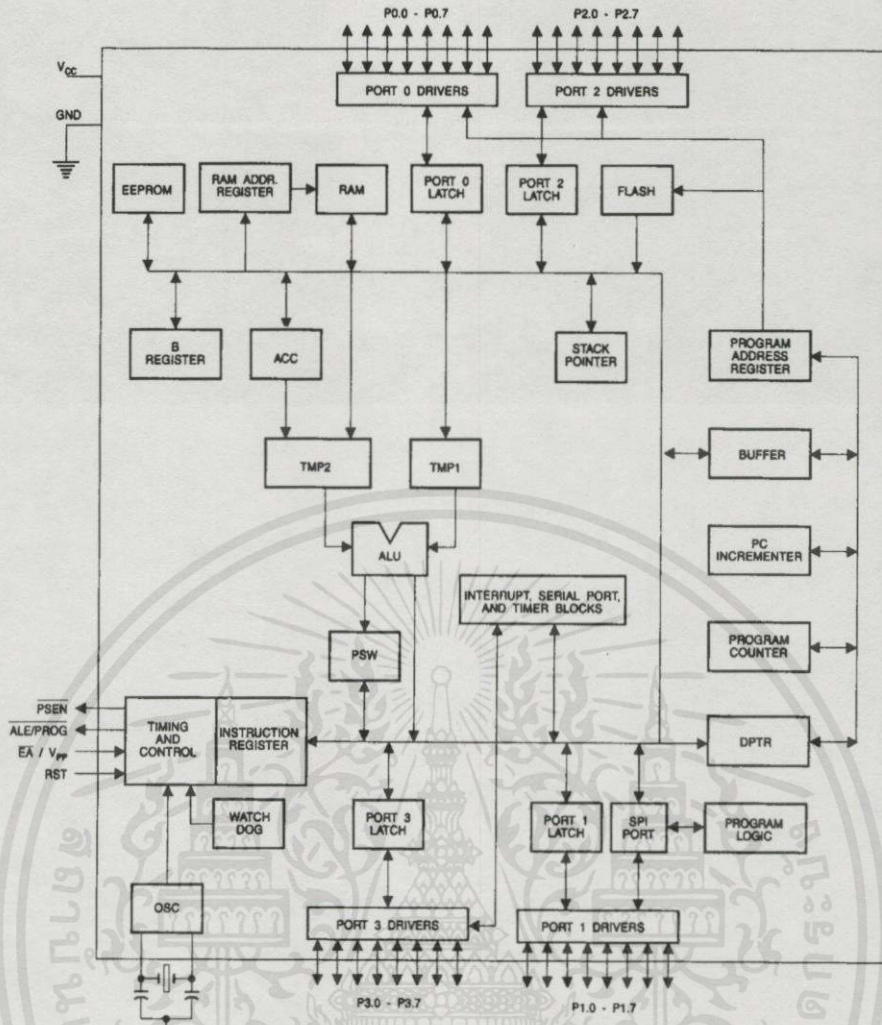
- ไมโครคอนโทรลเลอร์	AT89S8252 (ตัวถังแบบ DIP-48)
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา	18.432 เมกะเฮิร์ตซ์
- ชุดอินเทอร์เฟซ LCD (Character)	4 บิต
- หน่วยแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แบบอนุกรม	2 ช่องสัญญาณ(Channel) 12 บิต (Option)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบถาวร	24XX (Option)
- พอร์ตอนุกรม	RS-232, RS-422 และ RS-485
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	5 โวลท์ (LM7805)

ชิพ AT89S8252 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งการเลือกใช้ชิพของ ATMEL เบอร์ AT89S8252 เป็นชิพของแผงควบคุมก็เนื่องจาก AT89S8252 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีลักษณะเด่นที่เหมาะสมสำหรับนำมาสร้างเครื่องมือวัดคือ

- มีหน่วยความจำแบบ Flash (Flash Memory) สำหรับบันทึกหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 8 กิโลไบต์ โดยสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมเข้าตัวชิพได้โดยตรงผ่าน SPI Serial Interface และสามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 1,000 ครั้ง จึงทำให้ง่ายและสะดวกรวดเร็วต่อการพัฒนาโปรแกรม
- มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์ สำหรับบันทึกข้อมูลโดยสามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 100,000 ครั้ง
- มีระบบประหยัดพลังงาน

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

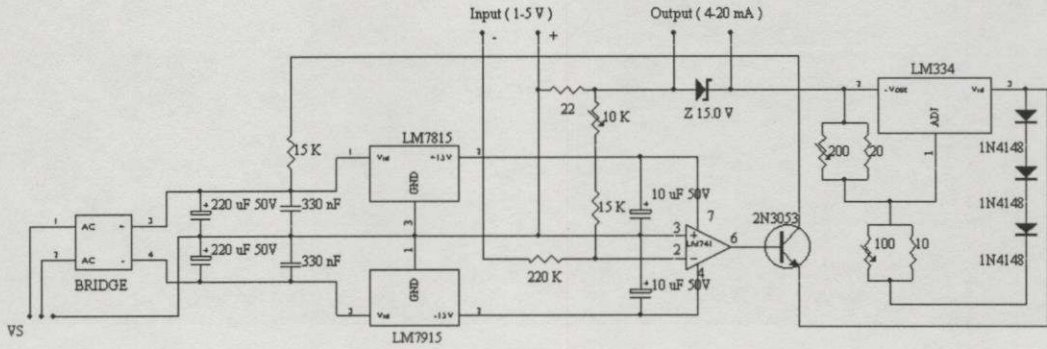


รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252

4.3.2 ส่วนส่งสัญญาณทดสอบ

ส่วนส่งสัญญาณทดสอบในที่นี้ก็คือวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (V/I Converter) นั่นเอง ซึ่งจะใช้สำหรับส่งสัญญาณ Step ป้อนให้กับกระบวนการ โดยวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสจะรับสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดันมาตรฐาน 1-5 Vdc. และให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA dc. ซึ่งเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุมกระบวนการ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสัญญาณที่ใช้ทดสอบกระบวนการคือ ระดับแรงดันขนาด 2 โวลต์ ดังนั้น เมื่อสัญญาณนี้ถูกส่งผ่านวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสจะได้สัญญาณทดสอบกระบวนการขนาด 8 mA dc. คงที่ โดยสัญญาณระดับ 2 โวลต์ คงที่นี้ จะถูกส่งออกมาทางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ รูปที่ 4.5 แสดงวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส

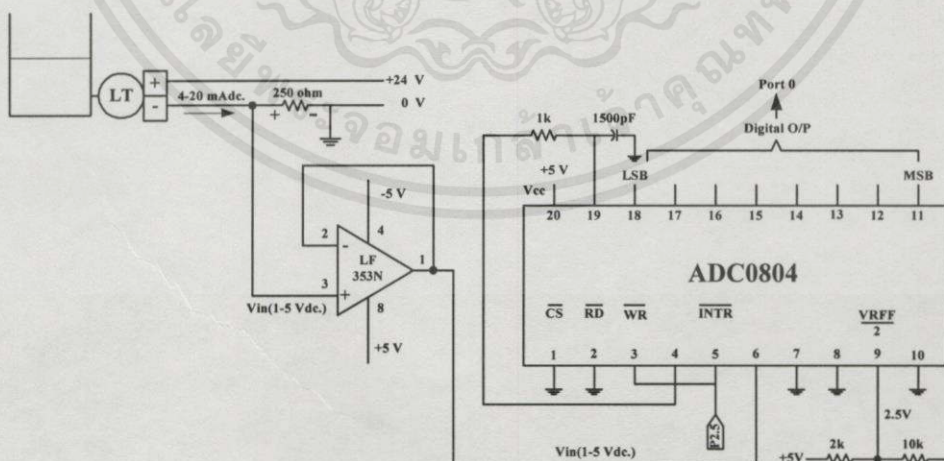
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส

4.3.3 ส่วนรับสัญญาณอินพุท

ส่วนรับสัญญาณอินพุทในที่นี้คือ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) ซึ่งจะรับสัญญาณอนาลอกที่อยู่ในรูปของแรงดันมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อเป็นข้อมูลส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการทำงานเป็นแบบดิจิตอลนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป โดย A/D ที่ใช้เป็นเบอร์ ADC0804 ซึ่งมีการทำงานเป็นแบบ Successive Approximation A/D Converter การทำงานแบบนี้ใช้วิธีการประมาณค่าทางดิจิตอลขนาด 8 บิต เพื่อสร้างแรงดันขึ้นเปรียบเทียบและทำการปรับเปลี่ยนทีละบิตจนกว่าจะได้แรงดันที่ถูกต้องกับแรงดันอินพุท โดยแรงดันอินพุทในที่นี้ได้รับมาจากการแปลงสัญญาณกระแสไฟ 4-20 mA dc. เป็นแรงดัน 1-5 Vdc. ที่ได้จากเครื่องวัด (ทรานสมิตเตอร์) ผ่านตัวต้านทาน 250 โอห์ม ที่มีค่าเที่ยงตรง 1% ดังรูปที่ 4.6



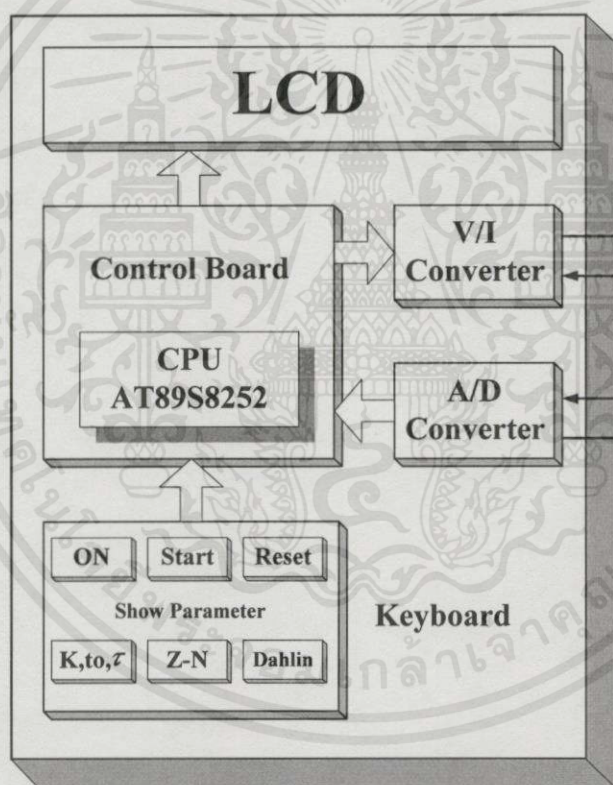
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงส่วนรับสัญญาณอินพุท

4.3.4 ส่วนป้อนสัญญาณอินพุตและส่วนแสดงผล

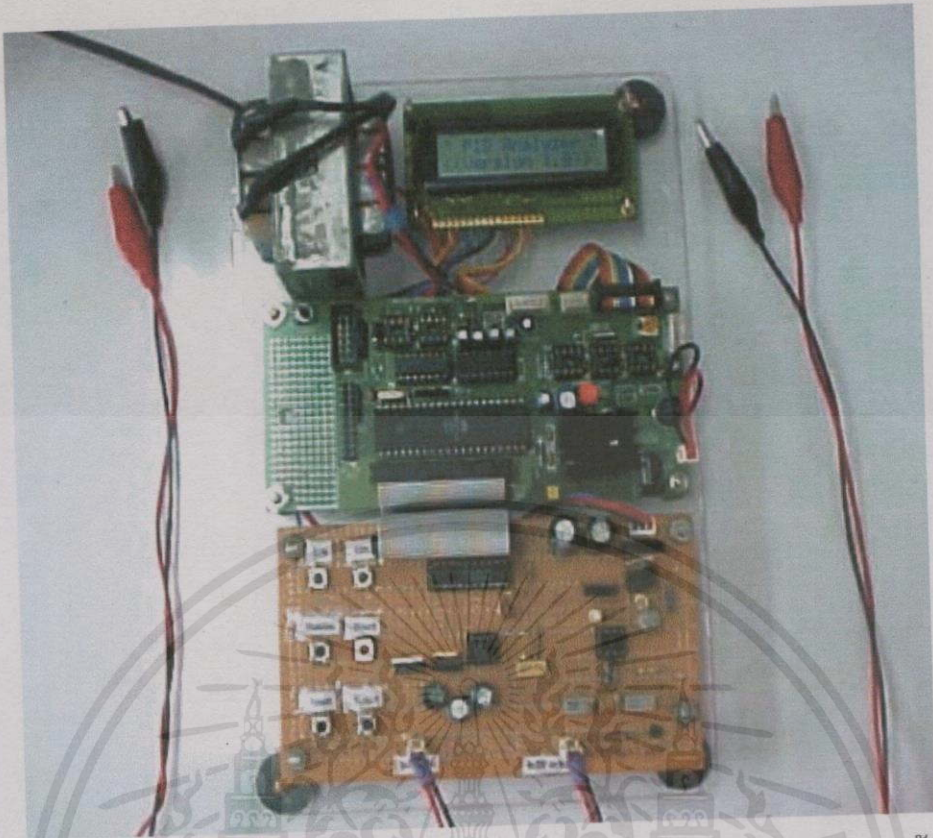
- ส่วนป้อนสัญญาณอินพุต คือ ส่วนของคีย์สวิตช์ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของแผงควบคุมและการแสดงผล
- ส่วนแสดงผลใช้จอแสดงผลเป็นแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display : LCD) ชนิด Character 16 ตัวอักษร 2 แถว โดยใช้ในการควบคุมแบบ 4 บิต เพื่อประหยัดพอร์ต (Port) การใช้งาน

บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ และเครื่องต้นแบบของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

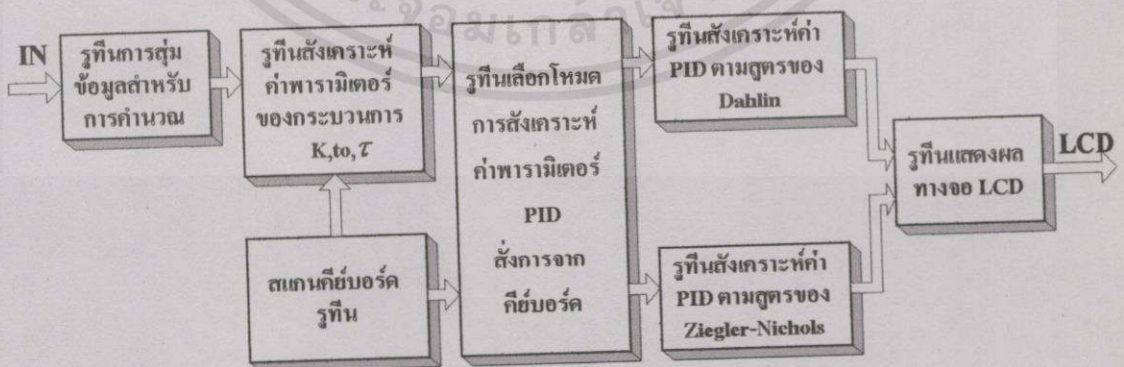
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงเครื่องต้นแบบเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

4.4 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ได้เลือกใช้ภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ SXA51 (SXA51 Cross Assembler) ในการออกแบบโปรแกรมมอนิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ PID แบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นภาษาที่นิยมใช้งานกันแพร่หลาย ซึ่งการทำงานของโปรแกรมมอนิเตอร์ สามารถแบ่งเป็นรูทีนต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังรูปที่ 4.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณี รูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมโปรแกรมมอนิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของ
ตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

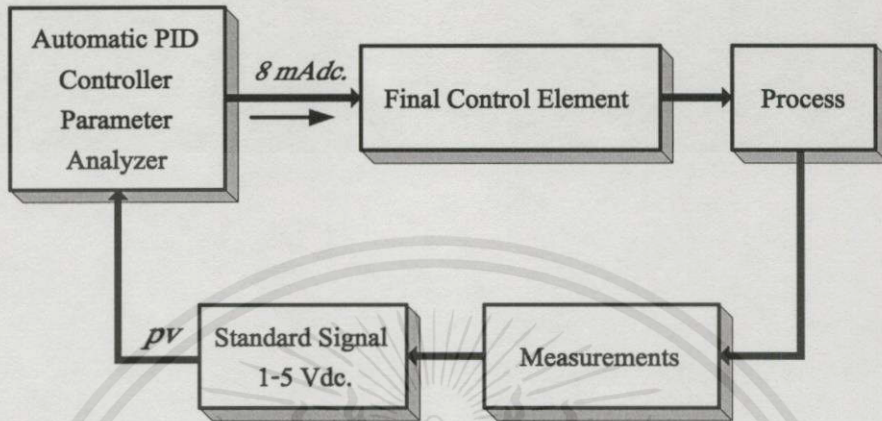
จากรูป รูทีนต่าง ๆ ของโปรแกรมมอเนเตอร์มีหน้าที่ดังนี้

- รูทีนการสุ่มข้อมูล (Sampling Data) ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัลจาก A/D เพื่อส่งให้ซีพียูประมวลผล
- รูทีนสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ (K, t_0, τ) ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการทั้ง 3 ค่า และเก็บค่าไว้สำหรับนำไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป
- รูทีนเลือกโหมดการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ PID ทำหน้าที่เลือกการคำนวณค่า PID โดยรับการสั่งงานจากคีย์บอร์ด ในที่นี้มีให้เลือก 2 วิธี คือ วิธีของ Ziegler-Nichols และวิธีของ Dahlin
- รูทีนสแกนคีย์บอร์ด ทำหน้าที่รับสัญญาณการกดจากคีย์บอร์ด เพื่อสั่งการให้ไมโครฯ ทำงานตามคำสั่งจากคีย์ต่าง ๆ
- รูทีนสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของ Dahlin ทำหน้าที่นำค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่สังเคราะห์ได้ มาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรของ Dahlin
- รูทีนสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของ Ziegler-Nichols ทำหน้าที่นำพารามิเตอร์ของกระบวนการที่สังเคราะห์ได้ มาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรของ Ziegler-Nichols
- รูทีนแสดงผลทาง LCD ทำหน้าที่ในการส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สังเคราะห์ได้และขั้นตอนในการทำงาน แสดงผลออกทางจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การใช้งานเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ กับกระบวนการต่าง ๆ มีไดอะแกรมการต่อใช้งาน ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการต่อใช้งานเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ PID แบบอัตโนมัติ กับกระบวนการต่าง ๆ

เมื่อทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ฯ เข้ากับกระบวนการเป้าหมายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการใช้งาน ซึ่งอธิบายได้เป็นลำดับดังนี้

1. กดคีย์ ON เพื่อให้เครื่องวิเคราะห์ฯ เริ่มต้นทำงานด้วยการแนะนำตัวและบอกขั้นตอนการใช้งานทางหน้าจอ LCD
2. เมื่อแนะนำตัวเสร็จเรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปเครื่องวิเคราะห์ฯ จะสั่งให้กดคีย์ Start เพื่อเริ่มการทดสอบกระบวนการ ในช่วงนี้จะต้องรอให้เครื่องวิเคราะห์ฯ ทำการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการให้เสร็จก่อน โดยเครื่องจะแจ้งให้รอทางจอ LCD
3. ถ้าขั้นตอนการทดสอบและสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการเสร็จสิ้น เครื่องวิเคราะห์ฯ จะแสดงให้เห็นทราบว่า การทดสอบกระบวนการเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เลือกวิธีการปรับแต่งและแสดงค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดได้จากคีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่บนเครื่อง
4. นำค่าพารามิเตอร์ PID ที่แสดงทางจอ LCD ไปใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการนั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

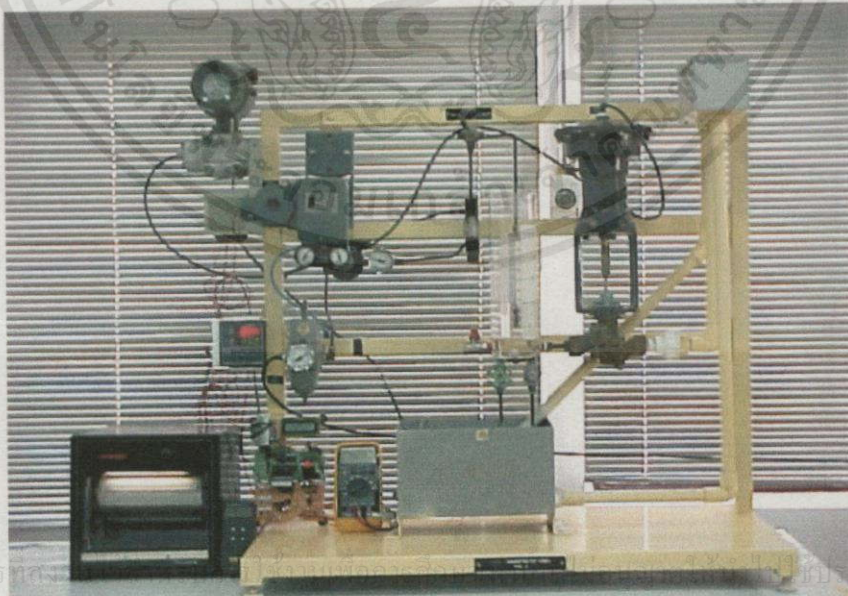
ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ไปใช้ทดลองกับกระบวนการจำลอง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการจำลองการควบคุมระดับของเหลว และกระบวนการจำลองการควบคุมอุณหภูมิ โดยจะแสดงให้เห็นผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมายต่าง ๆ ของแต่ละกระบวนการที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ PID จากเครื่องวิเคราะห์ฯ ในการควบคุม ซึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าพารามิเตอร์ PID ที่เครื่องวิเคราะห์ฯ นำค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่หาได้ไปคำนวณตามวิธีของ Ziegler-Nichols และ Dahlin นั้นเอง นอกจากนี้ในการทดลองยังได้นำค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เครื่องวิเคราะห์ฯ หาได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ PID ในทางทฤษฎีตามวิธีอื่น ๆ คือ วิธีของ Cohen-Coon และวิธี IAE เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันของแต่ละวิธี และนำมาพิจารณาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สำหรับการปรับละเอียด ในอันที่จะได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

5.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว

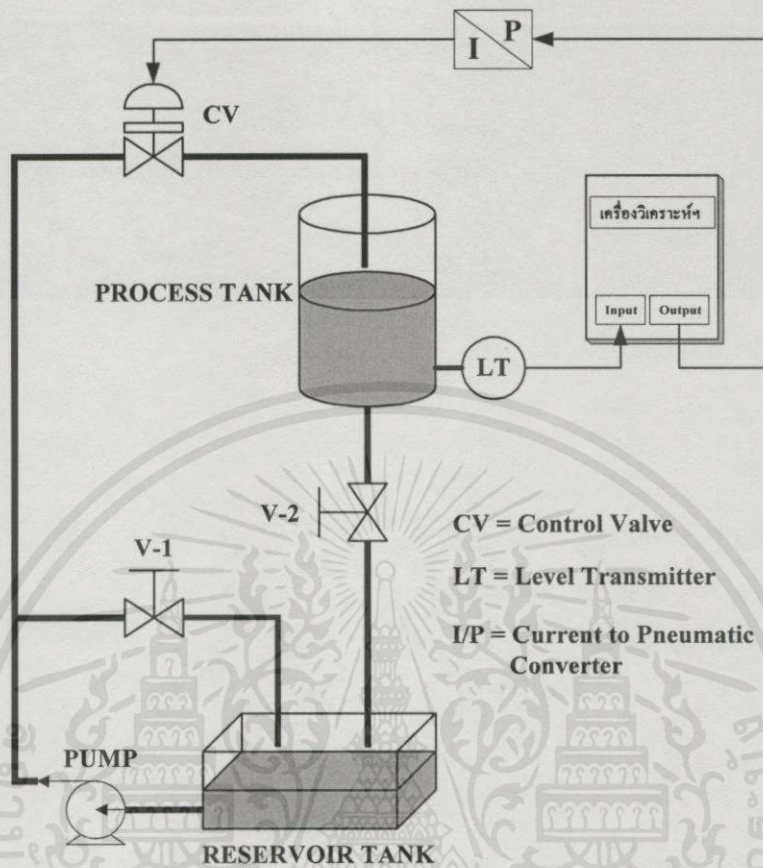
การทดลองนี้ เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ในการหาค่าพารามิเตอร์ PID ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำ ดังรูปที่ 5.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 5.1 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ
กับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง

จากรูปนำมาเขียนเป็นโครงสร้างการทดลองให้เห็นชัดเจนได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงโครงสร้างการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว

การทำงานของ การทดลอง ป้อนน้ำจะทำหน้าที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำ (Reservoir Tank) ขึ้นไปตามท่อตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งน้ำที่ถูกสูบจะถูกส่งไปยังถังกระบวนการ (Process Tank) ผ่านวาล์วควบคุม โดยมีวาล์วหมายเลข 1 (V-1) ทำหน้าที่เป็นวาล์วบายพาส เพื่อให้ น้ำไหลย้อนกลับมาที่ถังเก็บน้ำเมื่อวาล์วควบคุมปิด และน้ำที่อยู่ในถังกระบวนการจะไหลผ่านวาล์วหมายเลข 2 (V-2) ซึ่งเปิดตลอดเวลากลับไปที่ถังเก็บน้ำ เริ่มแรกวาล์วควบคุมจะปิดสนิทเมื่อเครื่องวิเคราะห์ ยังไม่ถูกสั่งให้ส่งสัญญาณ Step ดังนั้น เมื่อเครื่องวิเคราะห์ ถูกสั่งให้ทำงาน สัญญาณกระแสไฟฟ้า 8 mA dc. คงที่ (สัญญาณ Step ขนาด 25%) จะถูกจ่ายให้กับตัวแปลงสัญญาณกระแสเป็นความดันลม (Current to Pneumatic Converter) เพื่อสั่งให้วาล์วเปิด 25% น้ำที่ถูกสูบก็สามารถไหลเข้าสู่กระบวนการได้ ซึ่งระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัดโดย LT (Level Transmitter) และแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA dc. สัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า 1-5 V dc. โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1% และถูกป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับเครื่องวิเคราะห์ จากนั้นเครื่องวิเคราะห์ ก็จะเริ่มทำการจับเวลาผลตอบสนองและส่งเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการ เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ต่อไป เมื่อเสร็จสิ้นก็จะแจ้ง

ให้ทราบผ่านจอ LCD ซึ่งจากการทดลองเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ดังนี้

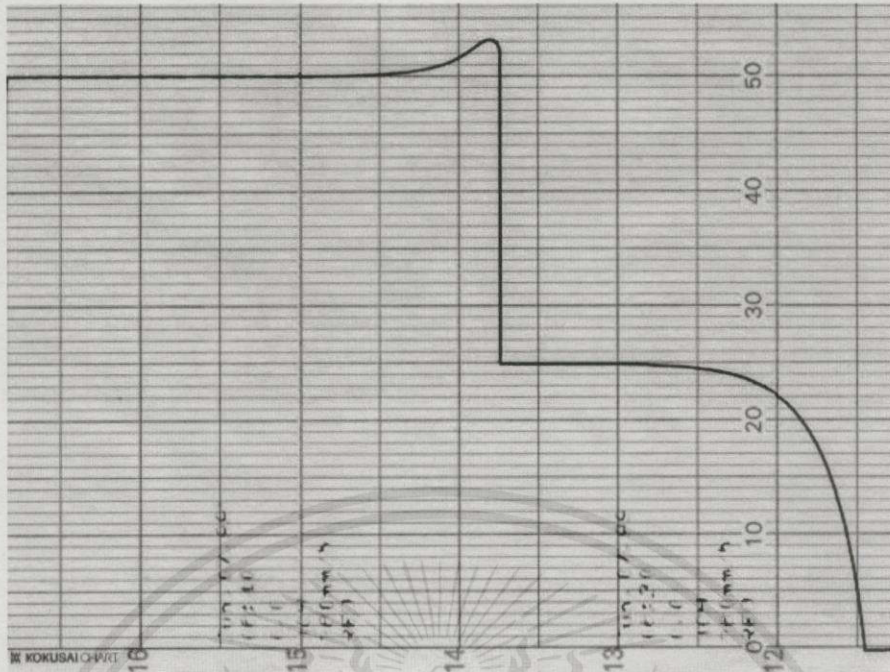
$$K = 3.5, t_0 = 22 \text{ sec. และ } \tau = 145 \text{ sec.}$$

และค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่เครื่องวิเคราะห์คำนวณได้รวมถึงวิธีที่คำนวณทางทฤษฎีและจากการปรับละเอียด แสดงดังตารางที่ 5.1

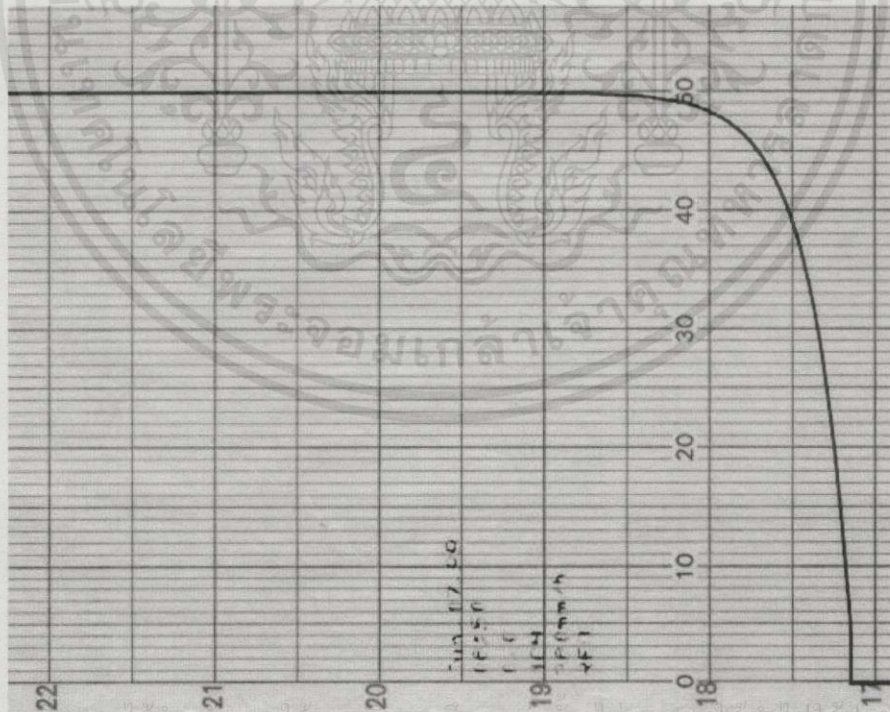
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้จากเครื่องวิเคราะห์ (Ziegler-Nichols และ Dahlin) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการปรับละเอียด สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง

วิธีการปรับ	K_c	T_i (sec.)	T_d (sec.)
Ziegler-Nichols PI (คำนวณ)	1.7	73	0
Ziegler-Nichols PID (เครื่องวิเคราะห์)	2.2	44	11
Dahlin PI (เครื่องวิเคราะห์)	0.9	145	0
Dahlin PID (คำนวณ)	0.9	145	11
Cohen-Coon PI (คำนวณ)	1.7	57	0
Cohen-Coon PID (คำนวณ)	2.6	51	8
IAE (Setpoint Change) PI (คำนวณ)	1.1	149	0
IAE (Setpoint Change) PID (คำนวณ)	1.6	201	9
IAE (Disturbance) PI (คำนวณ)	1.8	63	0
IAE (Disturbance) PID (คำนวณ)	2.3	40	8
Fine-Tuning PI	2.8	35	0

ผลตอบสนองของกระบวนการจากการควบคุมแต่ละแบบ (PI หรือ PID) สำหรับแต่ละวิธีด้วยค่าพารามิเตอร์ PID จากตารางที่ 5.21 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.3–5.20 โดยได้แสดงผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% และแสดงผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมาย 50% ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นผลตอบสนองของแต่ละวิธีโดยละเอียด ซึ่งจะประกอบขึ้นต่อการนำไปใช้งานและเพื่อแสดงให้เห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ได้ให้ผลตอบสนองสอดคล้องกับทฤษฎี

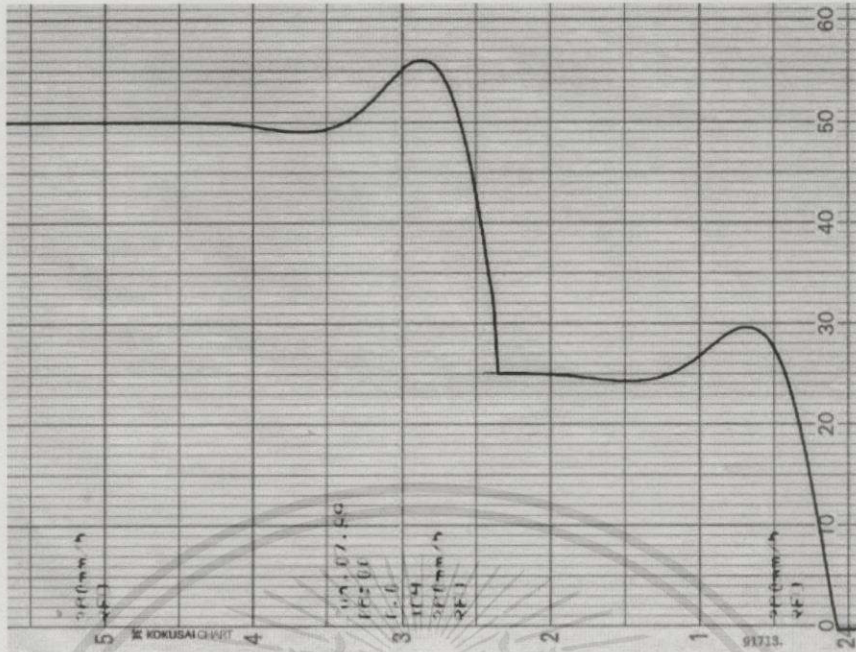


รูปที่ 5.3 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 73$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

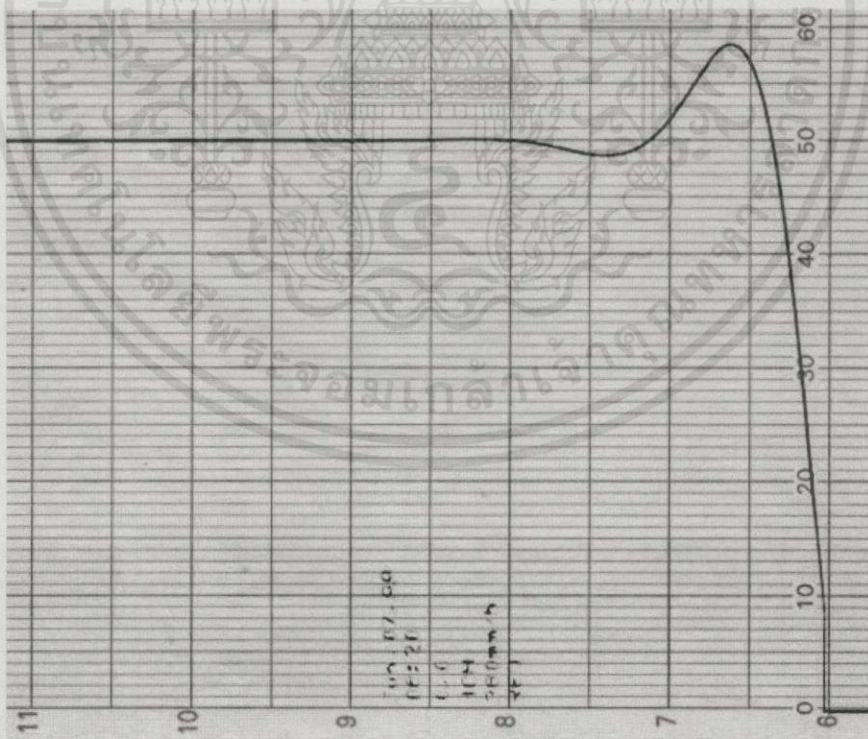


รูปที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols

($K_c = 1.7$ และ $T_i = 73$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

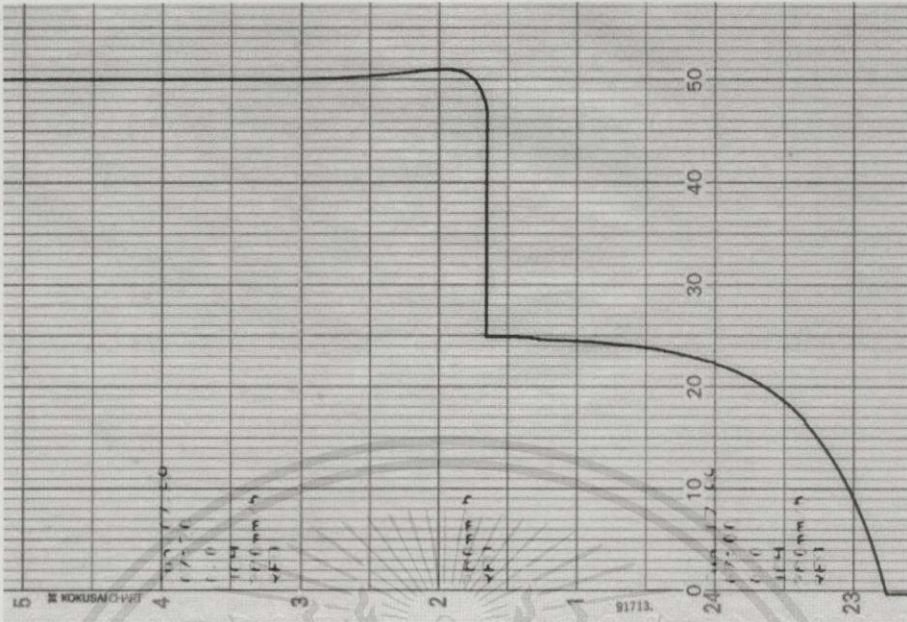


รูปที่ 5.5 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 2.2$, $T_i = 44$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

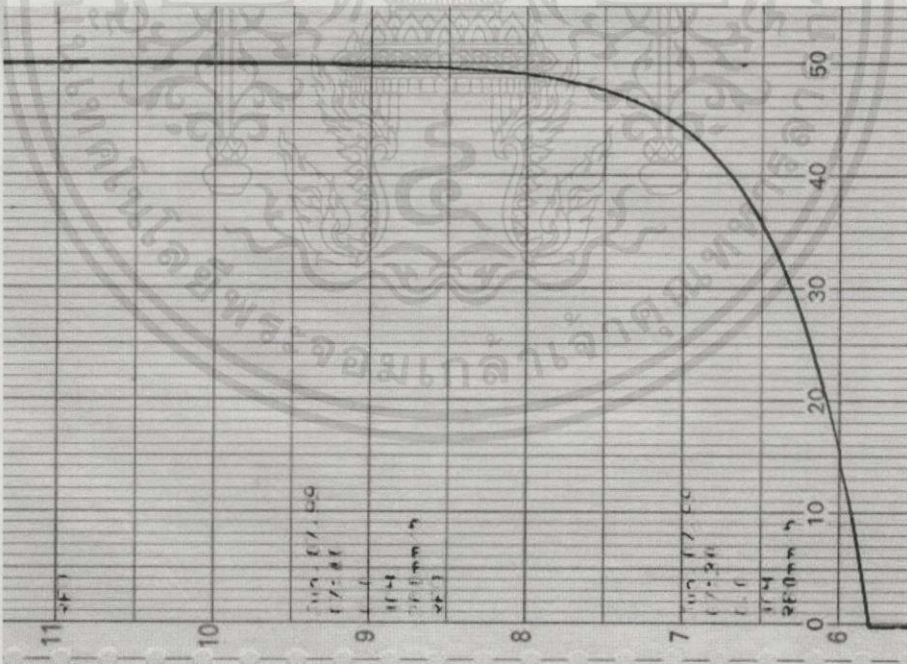


รูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols

($K_c = 2.2$, $T_i = 44$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



รูปที่ 5.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$ และ $T_i = 145$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

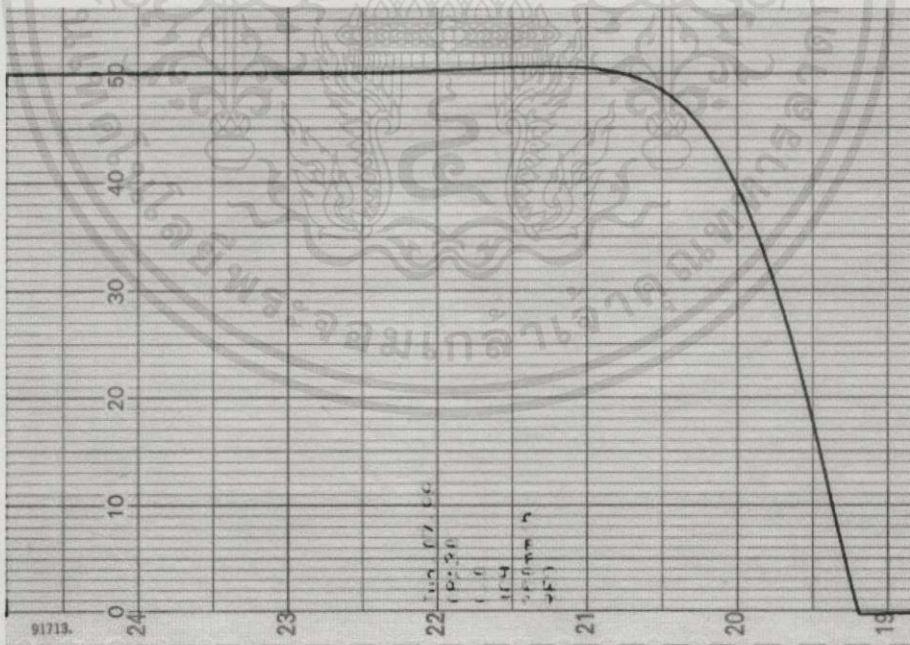


รูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$ และ $T_i = 145$ sec.)

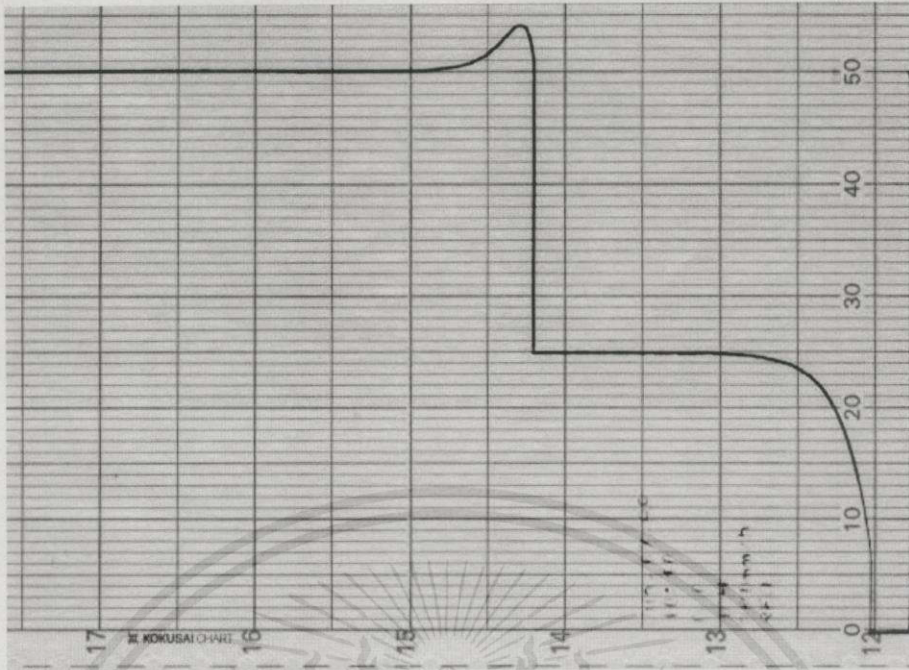
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกเช่นนี้เป็นต้นฉบับเพื่อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



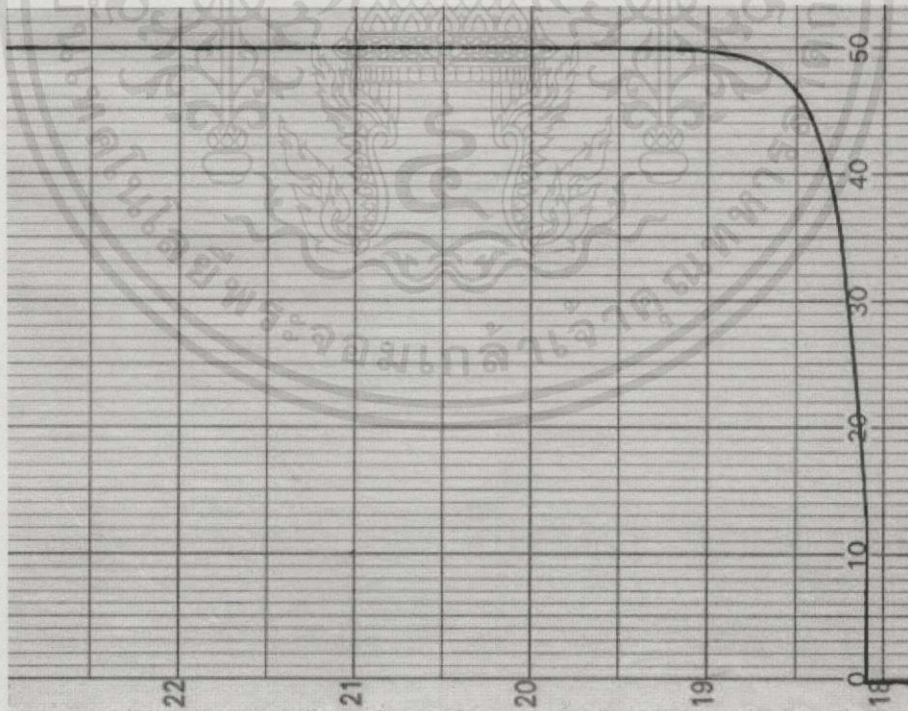
รูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$, $T_i = 145$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Dahlin ($K_c = 0.9$, $T_i = 145$ sec. และ $T_d = 11$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



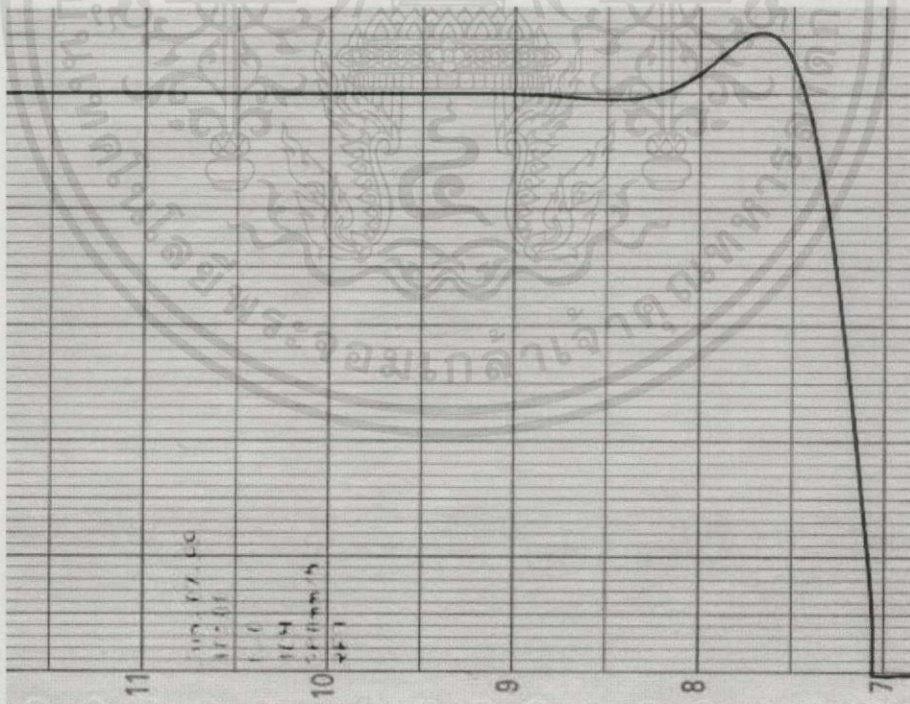
รูปที่ 5.11 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 57$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



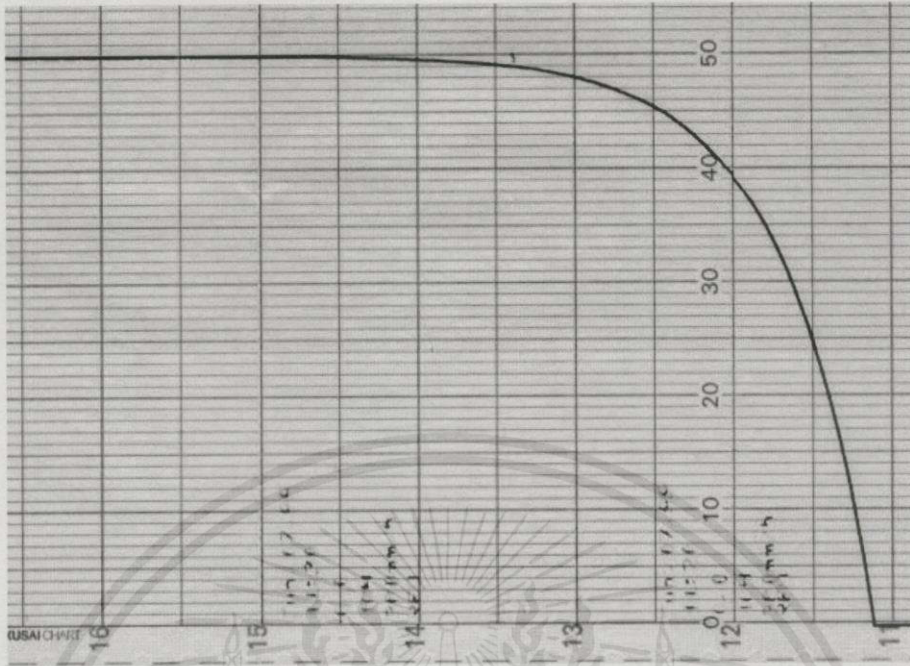
รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 1.7$ และ $T_i = 57$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



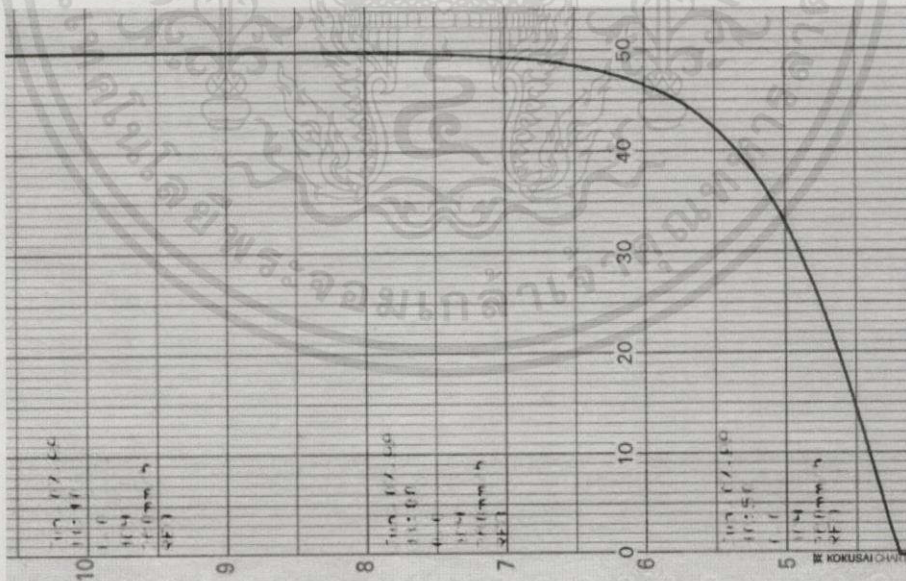
รูปที่ 5.13 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Cohen-Coon ($K_c = 2.6$, $T_i = 51$ sec. และ $T_d = 8$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



เอกสารรูปที่ 5.14 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% มีด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Cohen-Coon เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ($K_c = 2.6$, $T_i = 51$ sec. และ $T_d = 8$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

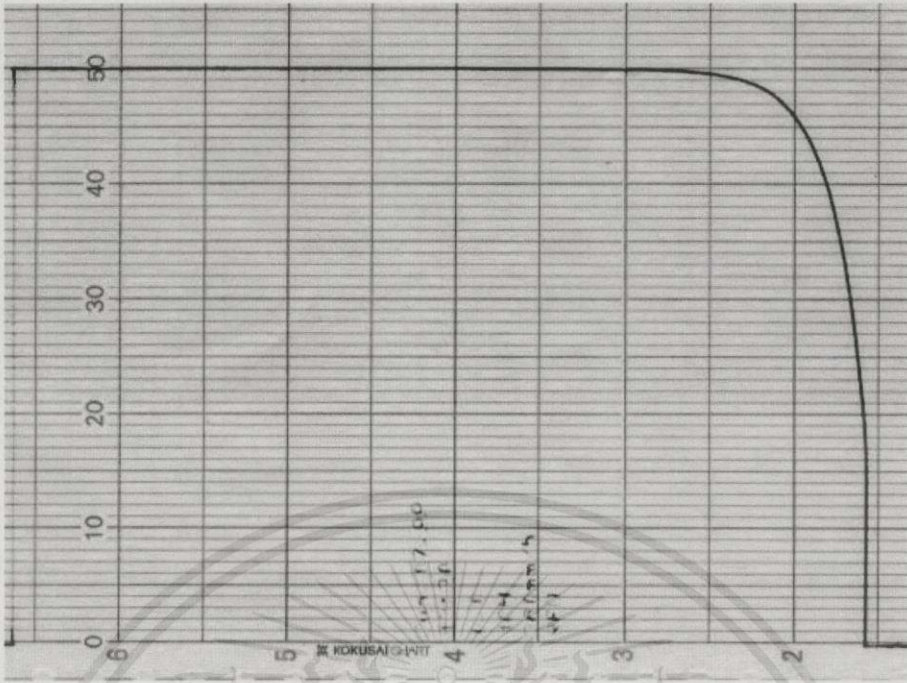


รูปที่ 5.15 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี IAE (Setpoint Change) ($K_c = 1.1$ และ $T_i = 149$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm/h.

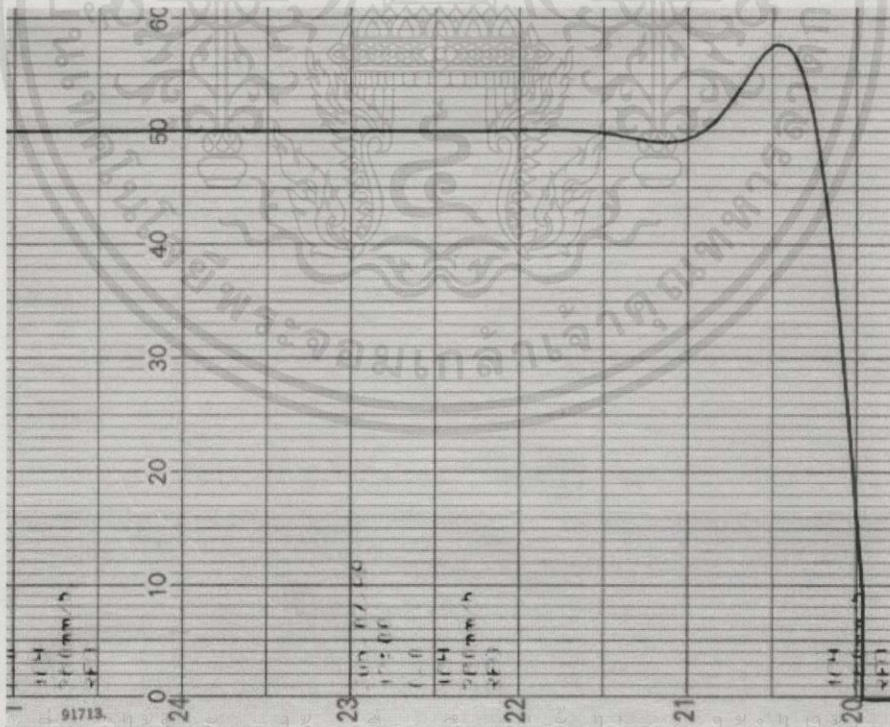


รูปที่ 5.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50%

ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธี IAE (Setpoint Change) ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ($K_c = 2.6$, $T_i = 51$ sec. และ $T_d = 8$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm/h. ที่มีการนำไปใช้

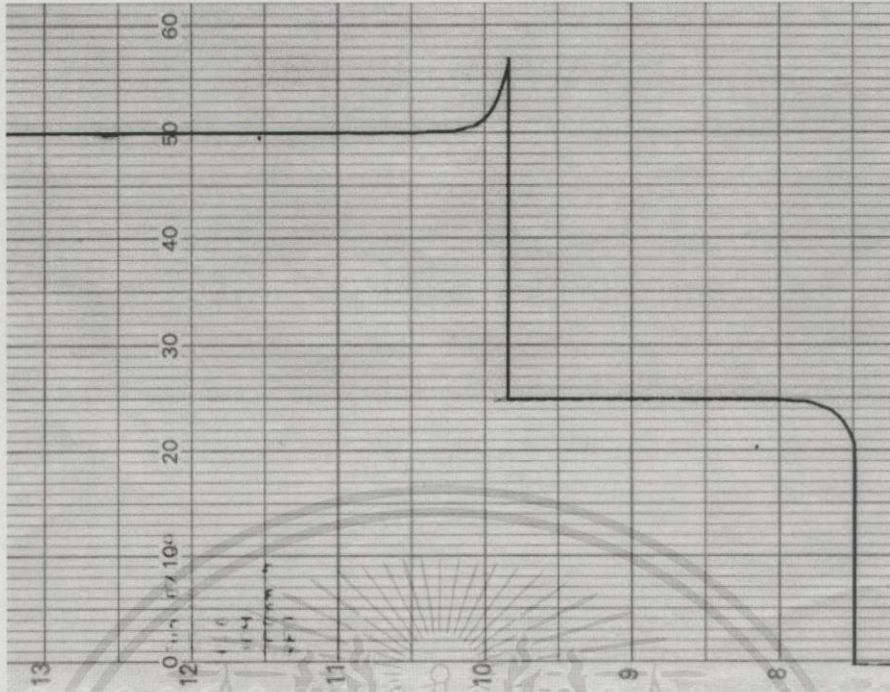


รูปที่ 5.17 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50%
ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี IAE (Disturbance)
($K_c = 1.8$ และ $T_i = 63$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

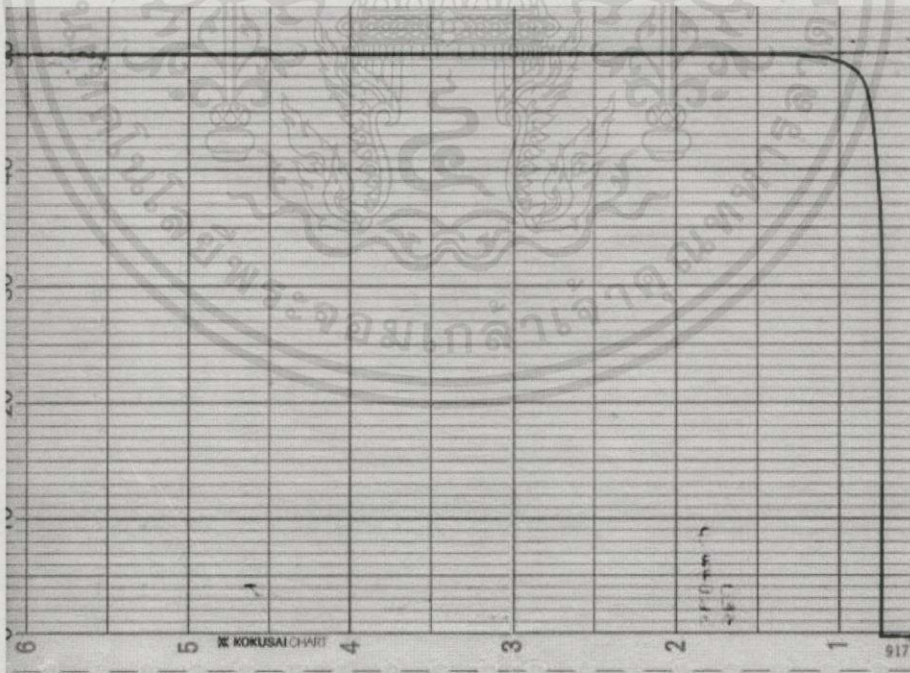


รูปที่ 5.18 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50%
ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธี IAE (Disturbance)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหามาใช้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($K_c = 2.3$, $T_i = 40$ sec. และ $T_d = 8$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



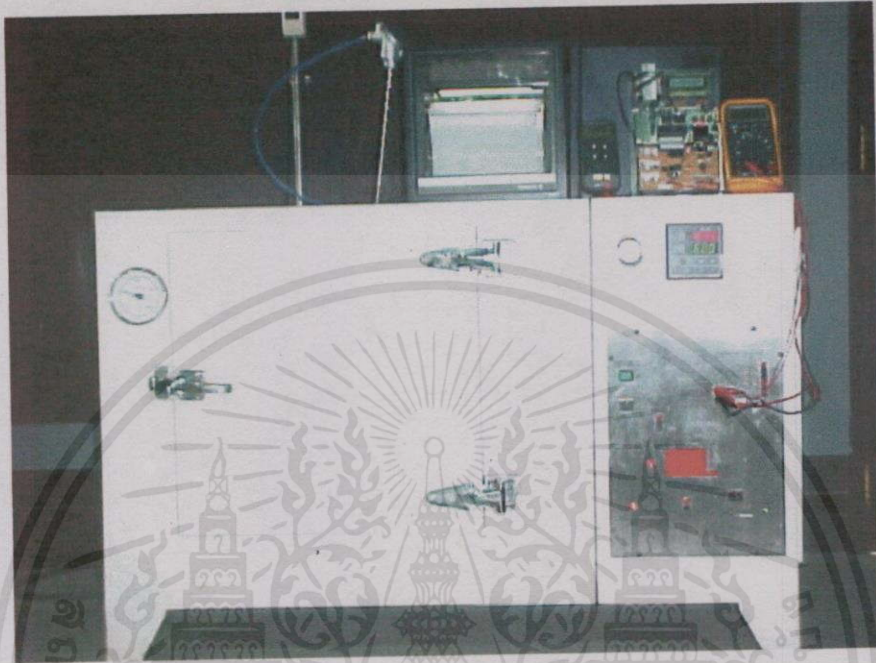
รูปที่ 5.19 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25% และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี Fine-Tuning ($K_c = 2.8$ และ $T_i = 35$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.



รูปที่ 5.20 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธี Fine-Tuning ($K_c = 2.8$ และ $T_i = 35$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm./h.

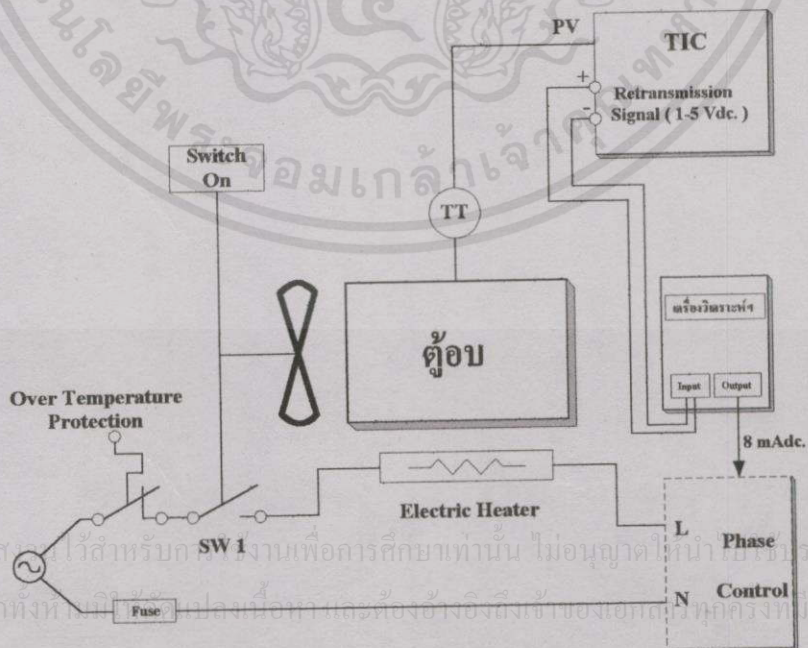
5.3 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ หาค่าพารามิเตอร์ PID ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ กับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูป นำมาเขียนโครงสร้างการทดลองให้เห็นชัดเจนได้ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แสดงโครงสร้างการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

การทำงานของระบบในการทดลอง เมื่อสวิทช์ ON ถูกกดพัลลัมจะทำงานเพื่อกระจายความร้อนภายในตู้อบ และ SW1 จะต่อให้ขดลวดความร้อน (Electric Heater) ทำงานครบวงจร โดยขดลวดความร้อนจะรับระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อกำเนิดความร้อนจากชุดควบคุมแรงดัน (Phase Control) ซึ่งจะทำงานเมื่อได้รับอินพุตที่เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA dc. ส่วนอุณหภูมิในตู้อบจะถูกตรวจวัดโดยอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector) และส่งออกไปแสดงผลในรูปของแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc. ผ่านตัวควบคุม ซึ่งระดับอุณหภูมิภายในตู้อบจะถูกป้องกันไม่ให้สูงเกินไปโดยตัวป้องกันอุณหภูมิเกิน (Over Temperature Protection) เริ่มแรกถ้าเครื่องวิเคราะห์ฯ ยังไม่ถูกสั่งให้ทำงาน ขดลวดก็จะยังไม่เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนให้กับชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะเป็นศูนย์ และเมื่อเครื่องวิเคราะห์ฯ ถูกสั่งให้ทำงานสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 8 mA dc. คงที่ (สัญญาณ Step ขนาด 25%) จะจ่ายเป็นสัญญาณอินพุตให้กับชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง (ประมาณ 50 Vac.) ป้อนให้กับขดลวดความร้อน อุณหภูมิภายในตู้อบก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จากนั้นเครื่องวิเคราะห์ฯ ก็จะเริ่มทำการจับเวลาผลตอบสนองและส่งกระแสค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการ เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ต่อไป เมื่อเสร็จสิ้นก็จะแจ้งให้ทราบผ่านจอ LCD ซึ่งจากการทดลองเครื่องวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ส่งกระแสค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ คือ

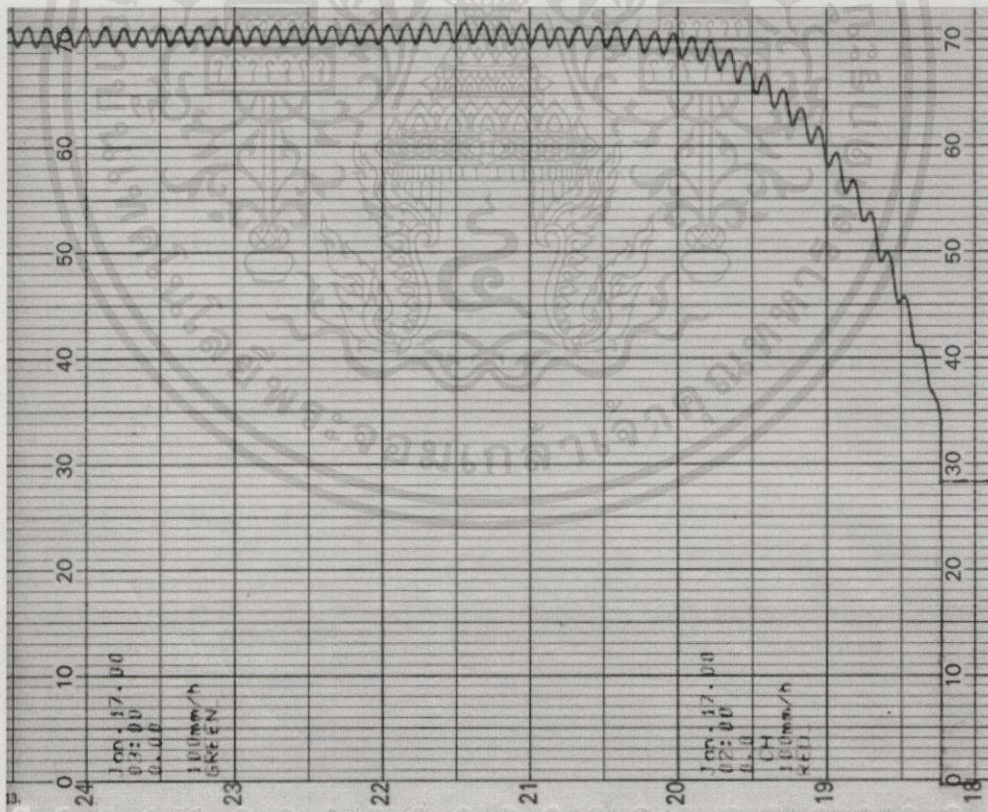
$$K = 0.5, t_0 = 95 \text{ sec. และ } \tau = 1613 \text{ sec.}$$

และค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่เครื่องวิเคราะห์คำนวณได้รวมถึงวิธีที่คำนวณทางทฤษฎีและจากการปรับละเอียด แสดงดังตารางที่ 5.2

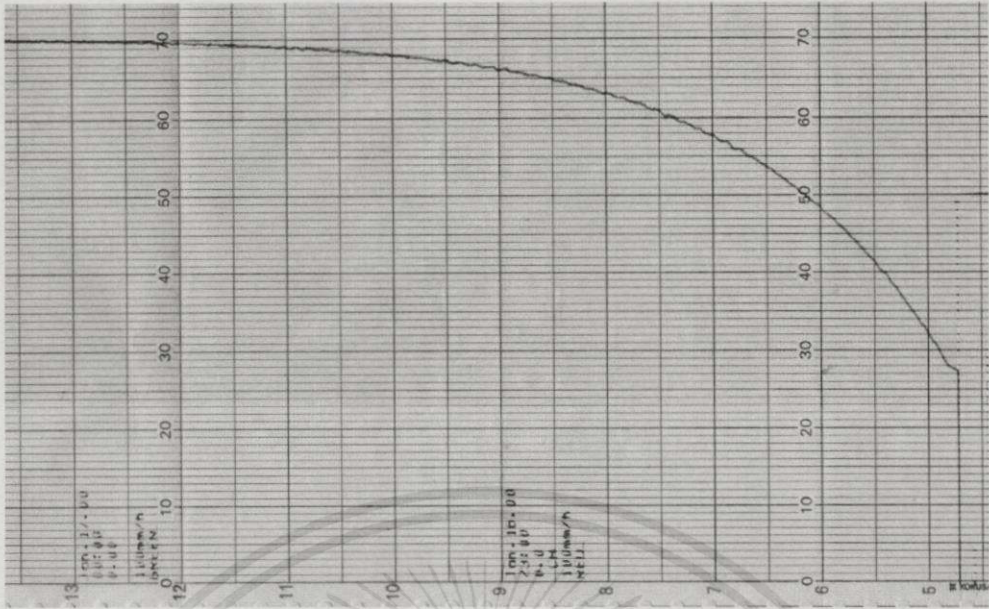
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่คำนวณได้จากเครื่องวิเคราะห์ ๑ (Ziegler-Nichols และ Dahlin) จากการคำนวณทางทฤษฎีและการปรับละเอียด สำหรับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ

วิธีการปรับ	K_c	T_i (sec.)	T_d (sec.)
Ziegler-Nichols	30	317	0
Dahlin	16.9	1613	0
Cohen-Coon	34	282	0
IAE (Setpoint Change)	17.4	1611	0
IAE (Disturbance)	32	358	0
Fine-Tuning	15	450	0

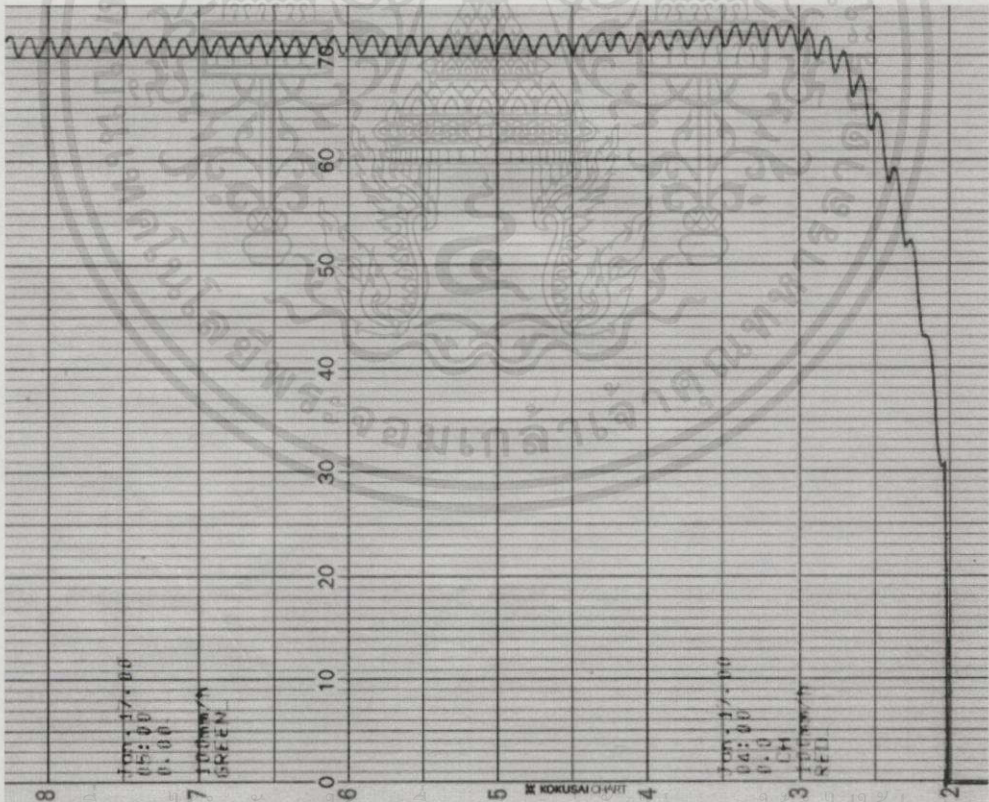
ผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับแต่ละวิธีที่ค่าเป้าหมาย 70% แสดงดังรูปที่ 5.23–5.28



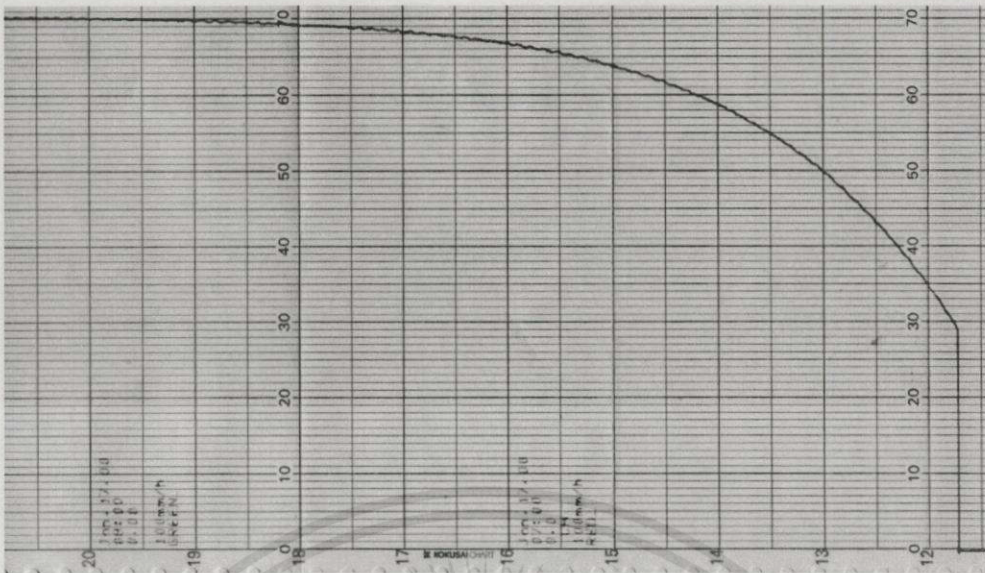
รูปที่ 5.23 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 30$, $T_i = 317$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.



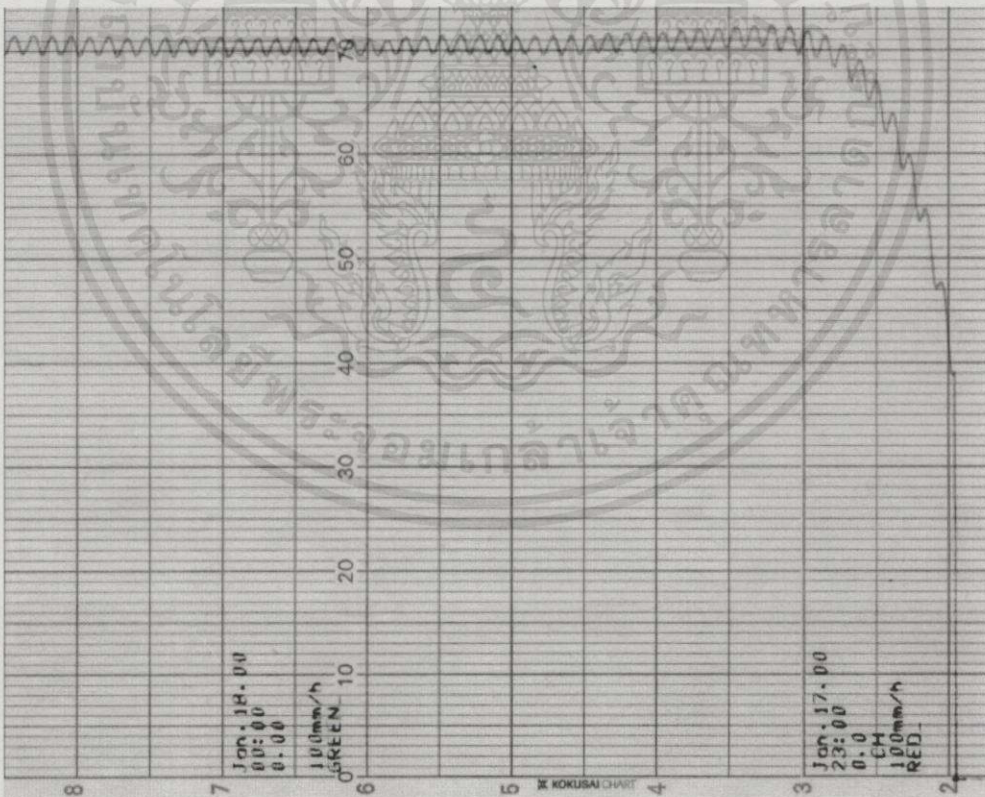
รูปที่ 5.24 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธีของ Dahlin ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 16.9$, $T_i = 1613$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.



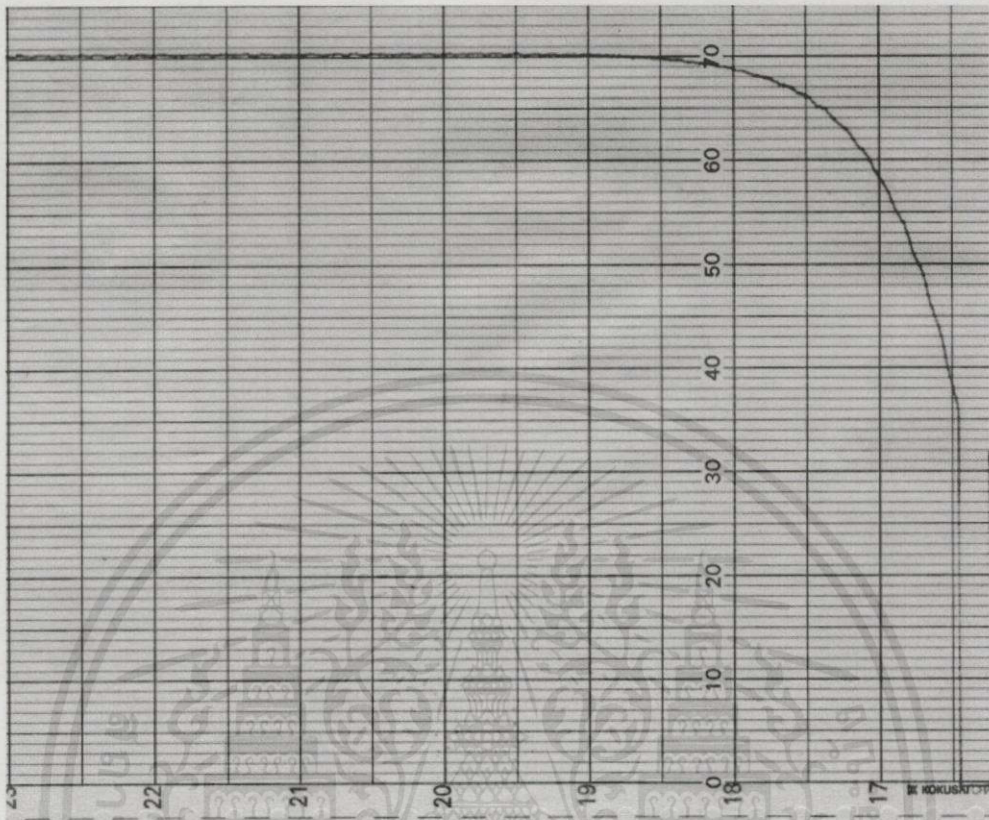
รูปที่ 5.25 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธีของ Cohen-Coon ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 34$, $T_i = 252$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.



รูปที่ 5.26 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธี IAE(Setpoint Change) ด้วยพารามิเตอร์ PID ($K_c = 17.4$, $T_i = 1611$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.



รูปที่ 5.27 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธี IAE(Disturbance) ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 32$, $T_i = 358$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.

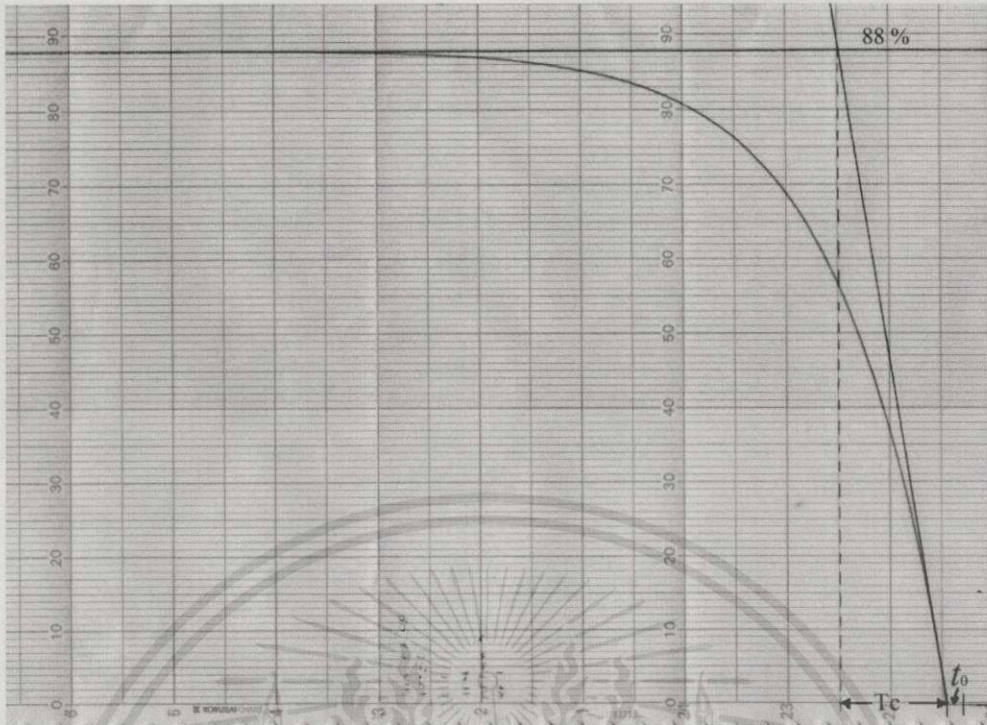


รูปที่ 5.28 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบที่ค่าเป้าหมาย 70% ตามวิธี Fine-Tuning ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ($K_c = 15$, $T_i = 450$ sec. และ $T_d = 0$ sec.) ที่ความเร็วการบันทึก 100 mm./h.

5.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีทางปฏิบัติ

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงการหาค่าพารามิเตอร์และผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการใช้วิธีทางปฏิบัติ คือวิธี Process Reaction Curve โดยจะยกตัวอย่างเปรียบเทียบการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง ซึ่งจากการทดลองทำการทดสอบกระบวนการดังกล่าวด้วยสัญญาณ Step 25% ตามวิธี Process Reaction Curve เครื่องบันทึกสัญญาณบันทึกผลตอบสนองแบบลูปเปิดของกระบวนการได้ดังรูปที่ 2.29 (แสดงรวมกับการลากเส้นต่าง ๆ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองแบบรูปเปิดและการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง จากวิธี Process Reaction Curve (ความเร็วการบันทึก 600 mm/h.)

จากรูปแสดงการลากเส้นสัมผัสจุดที่มีความชันสูงสุดของกราฟผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังที่ถูกทดลองด้วยการควบคุมแบบเปิดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการ โดยจากการทดลองสามารถวัดค่าเวลาคงที่ของกระบวนการได้ 26.5 มิลลิเมตร กำหนดเวลา 4.5 มิลลิเมตร และกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระดับ 88 % และในการทดลองปรับความเร็วการบันทึกของเครื่องบันทึกสัญญาณไว้ที่ 600 mm./h. นั่นคือ 1 mm./6 sec. ดังนั้น

$$K = 88\% / 25\% = 3.52$$

$$\tau = 26.5 \times 6 = 159 \text{ sec.}$$

$$t_0 = 4.5 \times 6 = 27 \text{ sec.}$$

จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการที่ได้ ใกล้เคียงกับค่าที่เครื่องวิเคราะห์หาค่าได้ ทั้งนี้เนื่องจากการลากเส้นสัมผัสที่จุดความชันสูงสุดและการวัดทำได้ใกล้เคียง รวมถึงการเลือกความเร็วการบันทึกเหมาะสม ทำให้กราฟผลตอบสนองที่บันทึกได้ง่ายต่อการกำหนดจุดความชันสูงสุด อย่างไรก็ตามค่าเวลาต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์จะให้ความถูกต้องแม่นยำมากกว่า

เนื่องจากใช้การจับเวลาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการทำงานด้วยความเร็วเป็นไมโครวินาที และจากการทดลองนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการที่ได้ ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรของ Ziegler-Nichols สำหรับการควบคุมแบบ PI และการควบคุมแบบ PID ได้ดังนี้

การควบคุมแบบ PI

$$K_c = 1.5 \text{ และ } T_i = 90 \text{ sec.}$$

การควบคุมแบบ PID

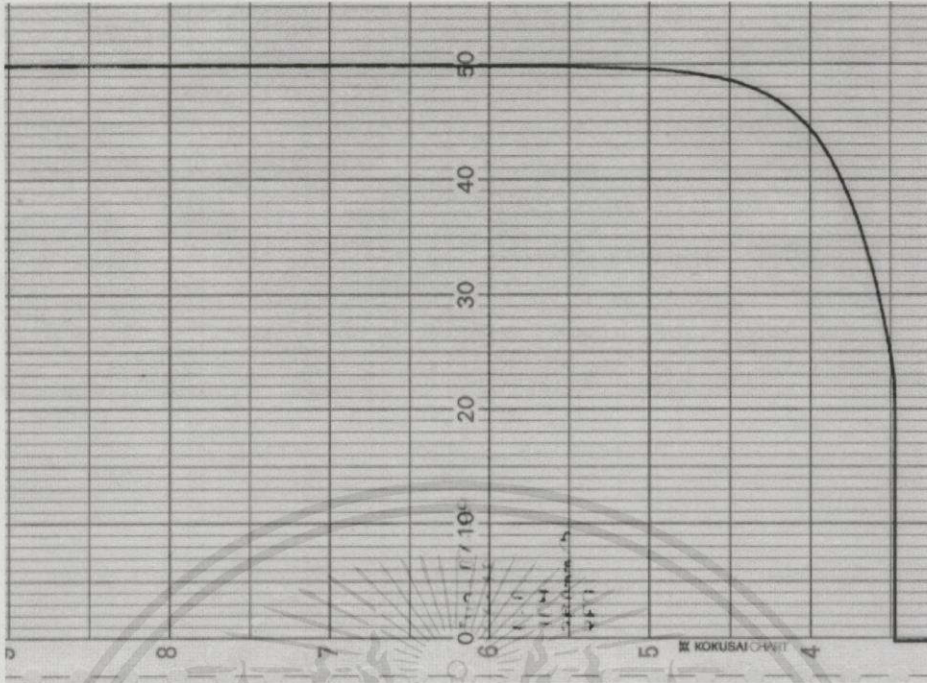
$$K_c = 2, T_i = 54 \text{ sec. และ } T_d = 13 \text{ sec.}$$

และผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังตามการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 2.30 – 2.32

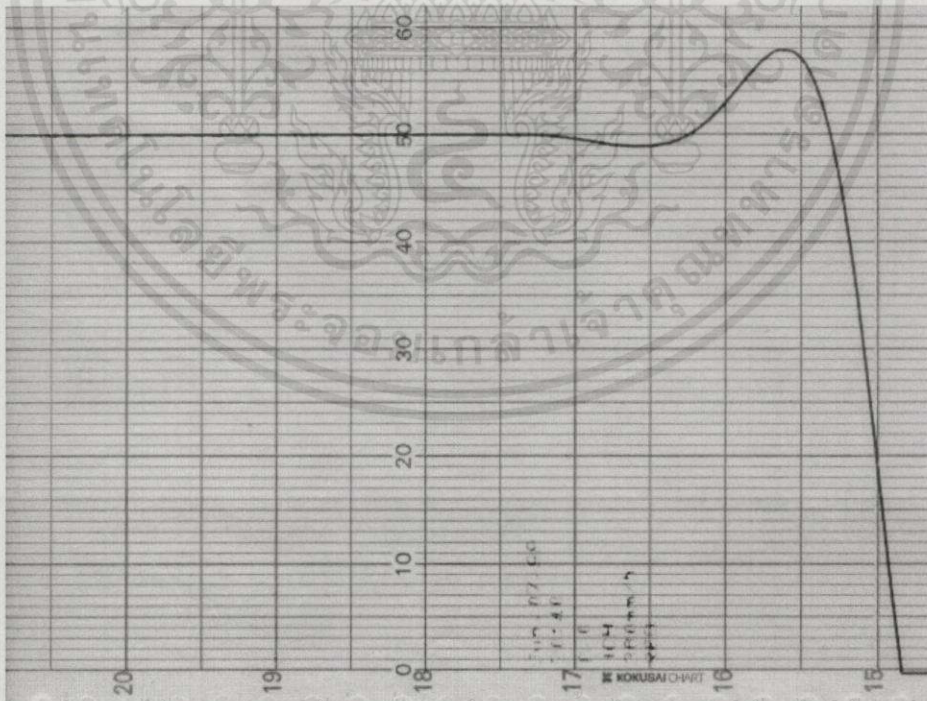


รูปที่ 5.30 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 25%

และ Step Change ไปที่ 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ด้านการคำนวณพารามิเตอร์ (ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง) ความเร็วการบันทึก 360 mm/h. การทดลองที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PI ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 1.5$ และ $T_i = 90$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm/h.



รูปที่ 5.32 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยการควบคุมแบบ PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ($K_c = 2$, $T_i = 54$ sec. และ $T_d = 13$ sec.) ความเร็วการบันทึก 360 mm/h.

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังที่ควบคุมด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ที่คำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยเครื่องวิเคราะห์ฯ กับวิธีทางปฏิบัติ (เปรียบเทียบกับวิธีของ Ziegler-Nichols)

ชนิดของการควบคุมและค่าเป้าหมายต่าง ๆ (Ziegler-Nichols)		T_r (sec.)	T_s (sec.)	O_s (%)
PI (เครื่องวิเคราะห์)	ค่าเป้าหมาย 25%	140	260	0
	ค่าเป้าหมาย 50%(Step Change)	6	115	3
	ค่าเป้าหมาย 50%	135	258	0
PI (วิธีทางปฏิบัติ)	ค่าเป้าหมาย 25%	175	320	0
	ค่าเป้าหมาย 50%(Step Change)	24	185	2.5
	ค่าเป้าหมาย 50%	135	355	0
PID (เครื่องวิเคราะห์)	ค่าเป้าหมาย 50%	65	410	8.4
PID (วิธีทางปฏิบัติ)	ค่าเป้าหมาย 50%	85	505	8

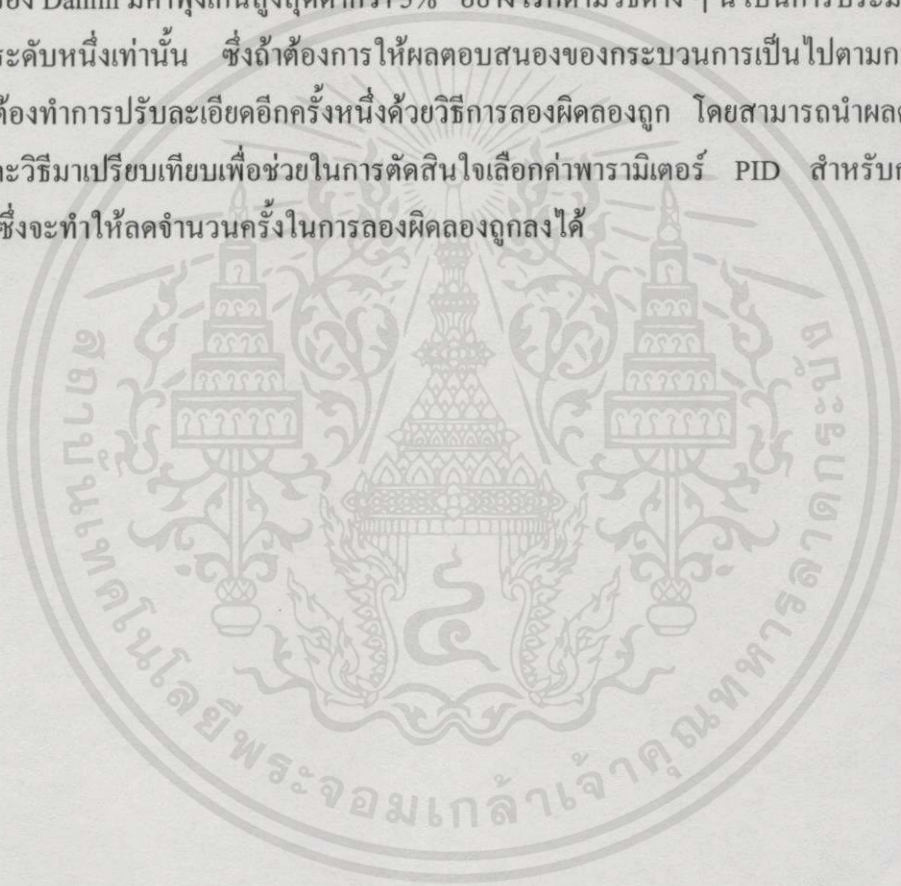
ตารางที่ 5.3 แสดงว่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังจากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสมรรถนะของกระบวนการที่ควบคุมค่าพารามิเตอร์ PID จากเครื่องวิเคราะห์ฯ ให้สมรรถนะที่ดีกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามถ้าการหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธีทางปฏิบัติได้ค่าผิดพลาดมาก ก็จะส่งผลให้สมรรถนะของการควบคุมลดลงมากเช่นกัน

5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนำเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ไปประยุกต์ใช้หาค่าพารามิเตอร์ PID กับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ พบว่าค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ฯ และค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีด้วยค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เครื่องวิเคราะห์ฯ

สังเคราะห์ได้ สามารถควบคุมกระบวนการทั้งสองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับแต่ละวิธีแตกต่างกันไม่มากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของแต่ละวิธีว่าต้องการให้ผลตอบสนองของกระบวนการเป็นเช่นไร เช่น วิธีของ Ziegler-Nichols มีจุดมุ่งหมายที่

ค่าพูนเกินสูงสุด 25% ส่วนวิธีของ Dahlin มีจุดมุ่งหมายที่ค่าพูนเกินสูงสุด 5% สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย ดังนั้น วิธีของ Ziegler-Nichols จะให้ค่าพูนเกินสูงกว่าวิธีของ Dahlin แต่จะเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วกว่า ในการนำไปใช้งานจึงต้องคำนึงถึงความต้องการของผลตอบสนองของกระบวนการเป็นหลักว่าต้องการให้เป็นอย่างไร เช่น ถ้ากระบวนการนั้นต้องการให้มีค่าพูนเกินต่ำ โดยไม่ให้ความสำคัญกับช่วงเวลาเข้าสู่เป้าหมายมากนัก ก็ควรใช้วิธีของ Dahlin เป็นต้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมด้วยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากเครื่องวิเคราะห์ฯ ให้ผลตอบสนองสอดคล้องกับทางทฤษฎี กล่าวคือ ผลตอบสนองของกระบวนการจากวิธีของ Ziegler-Nichols มีค่าพูนเกินสูงสุดต่ำกว่า 25% และวิธีของ Dahlin มีค่าพูนเกินสูงสุดต่ำกว่า 5% อย่างไรก็ตามวิธีต่าง ๆ นี้ เป็นการประมาณค่าที่ให้ผลดีในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าต้องการให้ผลตอบสนองของกระบวนการเป็นไปตามการอย่างแท้จริง ต้องทำการปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่งด้วยวิธีการลองผิดลองถูก โดยสามารถนำผลตอบสนองของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกค่าพารามิเตอร์ PID สำหรับการลองผิดลองถูก ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนครั้งในการลองผิดลองถูกลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัยเพื่อสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์เสริมการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ตัวควบคุม PID ในการควบคุมกระบวนการแก่บุคลากรที่ยังขาดประสบการณ์หรือความชำนาญในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เนื่องจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีนั้น จะต้องใช้เวลามากสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์น้อย ซึ่งเครื่องวิเคราะห์ฯ นี้จะช่วยลดเวลาและความยุ่งยากที่ต้องสูญเสียไปในการปรับแต่งตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามที่ต้องการ โดยขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของเครื่องวิเคราะห์ฯ คือ การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ถูกอนุมานให้เป็นแบบกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (FOPDT) และถูกทดสอบด้วยสัญญาณ Step จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Dahlin หรือ วิธีของ Ziegler-Nichols

จากการทดลองนำเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ไปใช้หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทั้งสองกระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับและกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ฯ สามารถนำไปใช้ควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด และมีผลตอบสนองสอดคล้องกับทางทฤษฎี อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ฯ นี้ เป็นค่าที่ใช้ควบคุมกระบวนการให้มีประสิทธิภาพได้ดีในระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น ในการใช้งานจริงจึงควรจะมีการปรับละเอียดอีกครั้ง เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีอย่างแท้จริงซึ่งได้แสดงให้เห็นแล้วในการทดลอง โดยในการทดลองค่าพารามิเตอร์ PID ที่นำมาใช้ในการปรับละเอียด ได้มาจากการนำผลตอบสนองของกระบวนการที่เกิดจากการควบคุมด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ที่สังเคราะห์ตามวิธีทาง Dahlin และ Ziegler-Nichols (จากเครื่องวิเคราะห์ฯ) รวมถึงวิธีอื่น ๆ ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าพารามิเตอร์ ของกระบวนการที่สังเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ฯ เช่น วิธีของ Cohen-Coon, IAE (สำหรับสัญญาณอินพุทรบกวนและการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย) มาใช้ช่วยวิเคราะห์เลือกค่าพารามิเตอร์ PID สำหรับปรับละเอียด ซึ่งจากการทดลองใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับละเอียดของทั้ง 2 กระบวนการ ด้วยค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองดังกล่าวนี้ ใช้การลองผิดลองถูกเพียง 3-4 ครั้ง ก็ได้ผลตอบสนองที่ดีแล้ว นับว่าลดเวลาไปได้มากทีเดียว ประโยชน์อีกประการหนึ่งของเครื่อง

วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ คือ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อตัวควบคุมที่มีราคาแพงมาใช้ (ตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองได้แบบอัตโนมัติ) มาใช้อีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัตินี้ เป็นเครื่องช่วยหาค่าพารามิเตอร์ PID ที่ต้องใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีเท่านั้น ซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนผู้ชำนาญและลดเวลาในการปรับค่าพารามิเตอร์ PID ลงได้ในระดับหนึ่ง แต่ในอุตสาหกรรมมีสิ่งรบกวนหลายอย่างที่ทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง เช่น วัตถุดิบที่ใช้แต่ละครั้งมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันทั้งหมด สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ฯลฯ ซึ่งสิ่งรบกวนเหล่านี้ อาจทำให้ระบบทำงานผิดพลาด ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบการผลิตและบางครั้งกระบวนการผลิตถึงกับหยุดชะงักลง ดังนั้นเมื่อเริ่มสายการผลิตใหม่จะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมใหม่ ซึ่งเป็นการเสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง การแก้ปัญหานี้ก็คือ การนำตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองอัตโนมัติมาใช้สำหรับควบคุมกระบวนการ แต่เนื่องจากตัวควบคุมประเภทนี้มีราคาแพงมาก ดังนั้นโครงการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถจะนำไปพัฒนาให้เป็นตัวควบคุมดังกล่าวต่อไปได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการอุตสาหกรรมไทยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น" อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

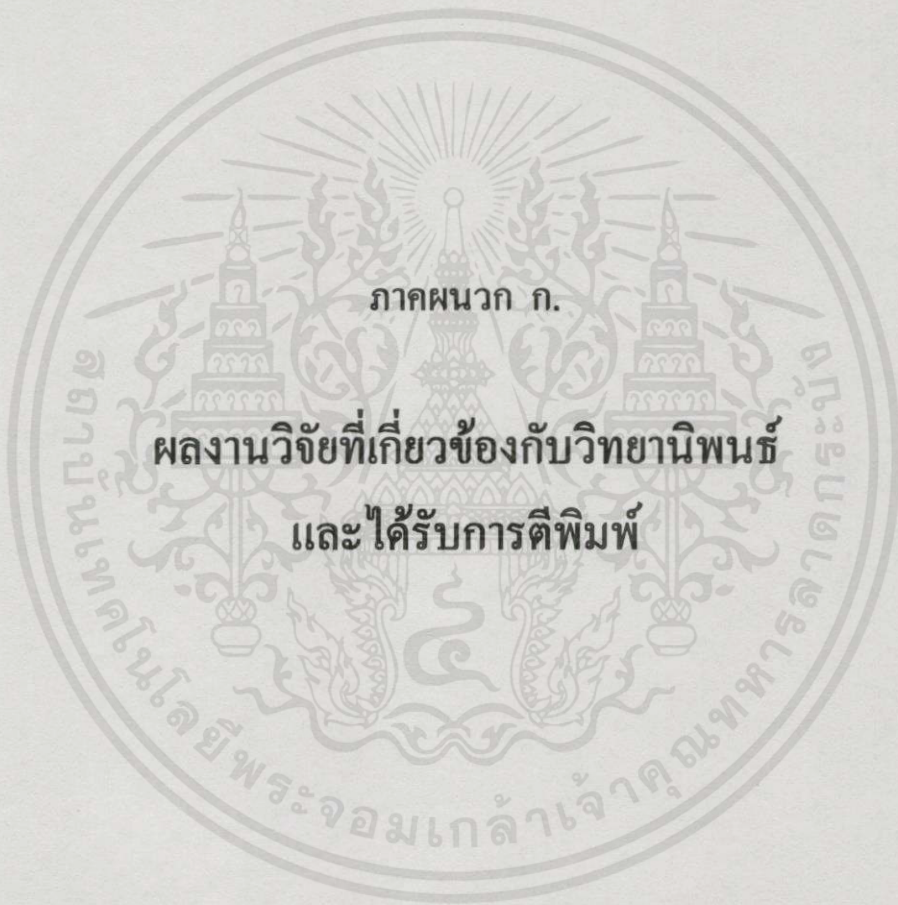
- [1] S. Bennett, "Development of the PID Controller," IEEE Control Systems Magazine, pp. 58-65, December 1993.
- [2] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Settings For Automatic Controllers," Transactions of the A.S.M.E., Vol.64, pp. 759-768, November 1942.
- [3] G.H. Cohen and G.A. Coon "Theoretical Consideration of Retarded Control," Transactions of the A.S.M.E., Vol.75, pp. 827-834, 1953.
- [4] P. Harriott, "Process Control," McGraw-Hill, 1964.
- [5] A.B. Rad, W.L. Lo, and K.M. Tsang, "Self Tuning PID Controller Using Newton-Raphson Search Method," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.44, No.5, pp. 717-725, October 1997.
- [6] D.W. Pessen, "A New Look at PID Controller Tuning," Transactions of the A.S.M.E., Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.116, pp. 553-557, September 1996.
- [7] M. Okata Modern Control Engineering, 3rd Edition, Prentice-Hall, Int., pp. 670-679, 1997.
- [8] C.C. Hang and K.K. Sin, "A Comparative Performance Study of PID Auto-Tuners," IEEE Control Systems, pp. 41-47, August 1991.
- [9] V.I. Vandoren, "Inside Self-Tuning PID Controllers," Control Engineering, Vandoren Industries, Inc., pp. 67-70, August 1993.
- [10] Yokogawa, "Expert Self-Tuning Controllers," 2nd Edition, Yokogawa Electronic Corp., July 1987.
- [11] E.B. Dahlin, "Designing and Tuning Digital Controllers," Instruments and Control Systems, Vol.41 No.6, pp. 77, June 1968.
- [12] M. Zhuang and D.P. Atherton, "Automatic Tuning of Optimum PID Controllers," IEE Proceedings-D, Vol. 140, No. 3, pp. 216-244, May 1993.
- [13] C. A. Smith, A. B. Corripio, Principles and Practice of Automatic Process Control, John Wiley & Sons, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 16 ฉบับที่ 3

กันยายน 2542

1. การคำนวณหาขนาดกระแสของสาย XLPE ที่ขนาดแรงดัน 12 kV. และ 24 kV. เมื่อติดตั้งใน Duct Bank สุทัศน์ พิลา นิตินันท์ กฤษณจินดา ศุภี บรรจงจิตร	1
2. การคำนวณหาพิกัดกระแสของสายเคเบิลโดยคำนึงถึงผลกระทบของฮาร์โมนิก สมชัย จิรวงษ์กุล นิตินันท์ กฤษณจินดา ศุภี บรรจงจิตร	7
3. การวิเคราะห์ข้อแตกต่างของหม้อแปลงจำหน่ายชนิดจุ่มน้ำมันเมื่อออกแบบสร้างตามข้อกำหนดเดิมเปรียบเทียบกับข้อกำหนดใหม่ ตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สิริวิทย์ ทัดสวน ปัญญา มาลีวีระ ศุภี บรรจงจิตร นิตินันท์ กฤษณจินดา บุญเลิศ สือเจด	13
4. การค้นหาใบเตอร์สล็อตฮาร์โมนิกส์เพื่อวัดความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบไว้ตัวตรวจจับความเร็ว เฉลิมชาติ มานพ อมรรัตน์ สุโคตร วิจิตร กิณเรศ	19
5. ค่าการสูญเสียในมอเตอร์เหนี่ยวนำเนื่องจากแรงดันฮาร์โมนิกส์ เมื่อคิดผลของ Skin Effect และ Stray Load Loss อนันดา รัตนะ วิจิตร กิณเรศ	26
6. การศึกษาเชิงตัวเลขของการบิดของไหลในตัวกระบอกแผ่นเรียบเชิงระนาบและเชิงสเฟอริก พงษ์เจต พรหมวงษ์ ปริญาภา รามภักดิ์กุล	31
7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดออกไซด์ของกำมะถันจากกระแสไฟฟ้าของถ่านหินผง จรวัด เจริญสุข ปัญญา แตงวิไลภักดิ์	37
8. การคำนวณและออกแบบสมรรถนะใบจักรเรือ อัครเดช สินธุภักดิ์ จารุพันธ์ หนูสมคน	43
9. เทคนิคการเขียน G-code เครื่องจักร CNC ด้วยภาษาเบสิก บุญชู ด้ลาขจรจิต หวี เทนเจริญ อัครเดช สินธุภักดิ์	49
10. กังหันลมสำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มงคล มงคลวงษ์โรจน์ อัครเดช งานโชคชัย	55
11. การคำนวณหาความเร็วที่ถ่ายไปของเครื่องมี้อัดลมเรดิโอฮีโดไดโกล์ สุทธิ พานิชการ สุวิทย์ อธิวิชัยภาค เกียรติกร วงษ์โรจนกรณ	61
12. การศึกษาการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ELP จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ชัชชาติพรณ มกรเดช ณรงค์ เหมกรณ	66
13. การจำลองเชิงสัญญาณการแบบมีอัตราส่วนการไหลของสัญญาณในดาวเทียมวงโคจรต่ำ กิตติเจริญ สุขชัยศิริภาค กัญญา จันทราขานา เอกพล ใจรักธรรม สุทธิ พานิชการ สุวิทย์ อธิวิชัยภาค	72
14. การถอดรหัสข้อมูล POCSAG ตัวโมโตโรคคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน กัญญา สุขชัยศิริภาค ไทรอิน สงวัฒนา	78
15. การเพิ่มประสิทธิภาพของกรวยกระเบื้องจุ่มสสารไทเทเนียมกับลูกข่ายของระบบปฏิบัติการเฉพาะกลุ่ม กมล น้อยทองเล็ก กฤษชัย เตชะหาญ	84
16. A Monolithic Patch Antenna on a Semi-insulated Si Substrate for Active Integrated Antenna Sathuporn Promwong Prakit Tangtisanon Jun-ichi Takada and Shigeo Kawasaki	90
17. เซ็ทอัลติค อีจอกวีทีเอ็ม การจัดกลุ่มระบบโปรแกรมแบบขนาน ศักดิ์ชัย คันทะขจร บรรจง ปิยะสว่าง	95
18. เครื่องวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ พิทยา ปานนิล ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ประภาณ อุคคกิมพันธ์ กิตติ สิริเศรษฐ	101
19. การออกแบบตัวควบคุม PIDA ด้วยวิธีทางเชิงขงราคา อภินันท์ น่วมไวราย ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ประภาณ อุคคกิมพันธ์ วิริยะ กอรวรัตน์	107
20. วงจรเพิ่มออสซิลเลชันแอมป์เสริมแบบควอดราเจอร์เฟสโดยใช้อัจฉริยะเพื่อเรนจ์เอเตอร์ อภินันท์ มงคลขจรจิต วิภา แสงพิสิทธิ์ จริญญา เมธจรัสอรานันท์ วิริยะ ศิลารวม	113
21. เครื่องเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานแบบมัลติเซนแนล วัฒน์ สินธุภักดิ์ วิภาณ ศัพย์สุวรรณพร วิริยะ กอรวรัตน์ เวทิน อิศรัตน์	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

Automatic PID Controller Parameters Analyzer

พิทยา ปานนิล ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ประภาช อุกกภิมาพันธุ์ กิตติ ตีรเศรษฐ
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID บางครั้งต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นสิ่งที่สิ้นเปลืองเวลาและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละกระบวนการ บทความวิจัยนี้จึงได้พัฒนาออกแบบสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์เสริมการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งจะช่วยลดเวลาและความยุ่งยากในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยนำหลักการการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของ Dahlin [1] มาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว จากการทดลองนำค่าที่หาได้จากเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติไปใช้ในการควบคุมระดับของของเหลวและอัตราการไหลในกระบวนการจำลอง พบว่าสามารถควบคุมกระบวนการให้มีผลตอบสนองตามต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด

Abstract

Most of the PID controller parameters tuning procedures in the real practice require trial and error, which is the consuming of time and needs operator experiences to obtain the best results for each industrial plant. This paper presents a design of an automatic PID controller parameter analyzer to be used as a support instrument in the industrial process control. This instrument is designed based on the tuning formula of Dahlin [1] to synthesize the PID controller parameters so that the consuming time to be spent in the trial and error procedures and its complexity can be reduced. Experimental results using the PID controller parameters synthesized from this analyzer to the liquid level control plant model and the fluid flow control plant model show that the responses of the controlled systems can be efficiently controlled without any difficulty in mathematical computation.

1. บทนำ

ตัวควบคุม PID ถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางมากกว่า 50 ปี [2] แต่ต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

PID เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในขั้นที่จะทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมเป็นไปตามต้องการ แนวทางการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID นั้น สามารถกระทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมและเป็นวิธีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับบริการงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถทำซ้ำเพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือวิธีของ Ziegler-Nichols [3] ซึ่งได้ใช้มากกว่า 50 ปีและยังนิยมใช้อยู่ [4] จนทุกวันนี้

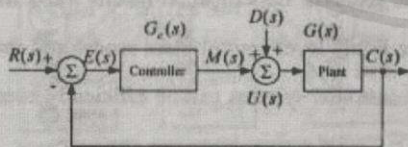
ในปัจจุบัน แม้ว่าตัวควบคุมจะมีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานแบบ auto-tuning หรือ self-tuning [5] ไว้ภายในแล้วก็ตาม แต่ตัวควบคุมประเภทนี้มิใช่ขีดความสามารถเฉพาะกับงานควบคุมบางประเภทเท่านั้นและมีราคาแพง บทความวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการควบคุมกระบวนการแก่บุคคลากรที่ยังขาดความชำนาญและประสบการณ์ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในขั้นที่จะลดเวลาที่ต้องสูญเสียไปในการปรับแต่งตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามที่ต้องการ

2. หลักการและทฤษฎี

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้าใจในองค์ประกอบแต่ละส่วนของกระบวนการ ดังนั้นการหาคุณลักษณะของกระบวนการ (Process characteristic) จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการ ไปเป็นตัวแปรในการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

2.1 วิธีการหาคุณลักษณะของกระบวนการ

รูปที่ 1 เป็นโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะถูกอนุมานให้เป็นรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีกาลหน่วงเวลา (First-order lag plus dead time : FOPDT) คือ

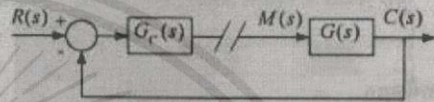
$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{s+1} \tag{1}$$

โดยที่ K = อัตราการขยายของกระบวนการ (Process gain)

t_0 = ค่าการหน่วงเวลา (Dead time)

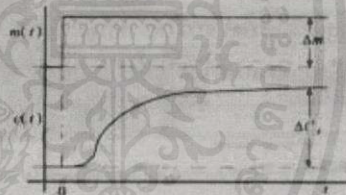
τ = ค่าเวลาที่ (Time constant) ของกระบวนการ

คุณลักษณะของกระบวนการอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบกระบวนการแบบไม่มีการป้อนกลับและไม่พิจารณาสิ่งรบกวน โดยการป้อนสัญญาณ $M(s)$ แบบขั้นบันได (Unit step) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกโคอะแกรมสำหรับทดสอบกระบวนการ

จากการทดสอบจะได้ผลตอบสนองในรูปแบบ S-shape ดังรูปที่ 3 รูปแบบนี้จะครอบคลุมไปถึงกระบวนการอันดับสอง และกระบวนการอันดับสูงที่มีอัตราหน่วง (Damping ratio) เท่ากับหรือมากกว่าหนึ่งได้ด้วย



รูปที่ 3 ผลตอบสนองหลังจากป้อนสัญญาณขั้นบันได

ผลตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุม Δm จะถูกนำมาคำนวณค่าคุณลักษณะในรูปแบบของ FOPDT โดยการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform)

$$C(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{s+1} \cdot \frac{\Delta m}{s} = K\Delta m e^{-t_0s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{s+1} \right] \tag{2}$$

แปลงผกผันลาปลาซให้อยู่ในรูปโดเมนเวลา จะได้ว่า

$$\Delta C(t) = K\Delta m u(t-t_0) \left[1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right] \tag{3}$$

พจน์ $u(t-t_0)$ เป็นพจน์ที่กำหนดที่ทำให้ $\Delta C(t) = 0$ ที่เวลา $t \leq t_0$ ดังนั้น ผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ และค่าของอัตราการขยายของกระบวนการจะหาได้จาก

$$\Delta C_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta C(t) = K\Delta m \tag{4}$$

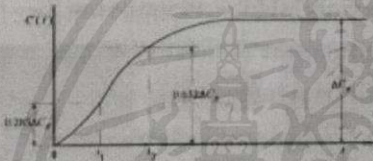
$$K = \frac{\Delta C_\infty}{\Delta m} \tag{5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ

ค่าคุณลักษณะที่หาได้โดยการประมาณค่า โดยกำหนดให้สัญญาณควบคุม $\Delta m=1$ และแทนค่าของเวลา $t=(t_0 + \tau)$ และ $t=(t_0 + \frac{\tau}{3})$ ในสมการ (3) จะได้

$$\begin{aligned} \Delta C(t_0 + \tau) &= 0.632K = 0.632\Delta C_s \\ \Delta C(t_0 + \frac{\tau}{3}) &= 0.283K = 0.283\Delta C_s \end{aligned} \quad (6)$$

ดังนั้น อัตราการขยายของกระบวนการ $K=\Delta C_s$ ที่ $\Delta m=1$ ส่วนค่า dead time จะหาได้ด้วยการจับเวลาจนกระทั่งกระบวนการเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับค่าเวลาที่หาได้จากกราฟความถี่ (พิจารณาจากรูปที่ 4) คือ



รูปที่ 4 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT

$$t_1 = t_0 + \frac{\tau}{3}, \quad t_2 = t_0 + \tau \quad (7)$$

ดังนั้น $\tau = t_2 - t_1$ หรือ $\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$

เมื่อ t_1 คือเวลาที่ $\Delta C = 0.283\Delta C_s$

t_2 คือเวลาที่ $\Delta C = 0.632\Delta C_s$

2.2 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จะพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบวงปิด จากรูปที่ 1 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิด คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (8)$$

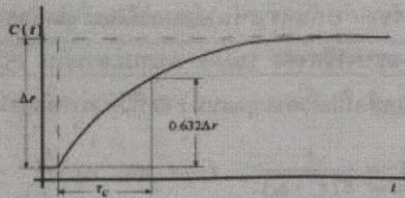
แปลงเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะได้

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{C(s)/R(s)}{1 - [C(s)/R(s)]} \quad (9)$$

เมื่อพิจารณาผลตอบสนองแบบวงปิดที่เข้าใกล้ความถี่ของการของผู้ควบคุมมากที่สุดคือ ระบบควบคุมที่ให้ผลตอบสนองเป็นแบบ first order lag ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad (10)$$

โดยที่ τ_c คือ ค่าเวลาคงที่ของผลตอบสนองแบบวงปิด



รูปที่ 5 ผลตอบสนองแบบวงปิดที่ใช้สังเคราะห์ค่า PID

แทนสมการ (10) ใน (9) จะได้

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \quad (11)$$

แทนค่าสมการที่ (1) ใน (11) จะได้

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K\tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) e^{t_0 s} \quad (12)$$

พิจารณาสมการ(12)ในโดเมนเวลาจะพบว่าค่าการหน่วงเวลา t_0 เป็นลบ ส่งผลให้ไม่สามารถทำให้เป็นตัวควบคุมที่เป็นจริงได้เนื่องจากต้องการการทำนายล่วงหน้า ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเทียบกับผลตอบสนองแบบวงปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0 คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \quad (13)$$

แทน (1) และ (13) ใน (9) จะได้

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (14)$$

ประมาณค่าเทอม $e^{-t_0 s}$ โดยอนุกรมเทย์เลอร์

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s + \frac{1}{2!}(t_0 s)^2 - \frac{1}{3!}(t_0 s)^3 + \dots \quad (15)$$

นำ 2 เทอมแรกไปแทนในสมการที่ (14) จะได้

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \quad (16)$$

จากกระบวนการที่เป็นแบบ FOPDT เมื่อนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะได้เป็นตัวควบคุมแบบ PI เท่านั้น โดยมีค่า

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad \text{และ} \quad \tau_I = \tau \quad (17)$$

โดยที่ K_c = อัตราการขยายของตัวควบคุม

τ_I = ค่าIntegral time ของตัวควบคุม

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบวงปิดของ Dahlin ตามกระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)}, \quad \tau_I = \tau \text{ และ } \tau_D = \frac{t_0}{2} \quad (18)$$

โดยที่ τ_D = ค่า Derivative time ของตัวควบคุม

กระบวนการที่ใช้การควบคุมในโหมด PID ควรมีค่า t_0 มากกว่า $\tau/4$ กรณีอื่นควรใช้การควบคุมแบบ PI และเมื่อต้องการควบคุมให้ค่าพุ่งเกินไม่เกิน 5% สำหรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายแนะนำให้ใช้ $\tau_c = t_0$

3. แนวคิดและการประยุกต์

หัวข้อนี้นำเสนอแนวคิดในการหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการจากการทดสอบด้วยสัญญาณขั้นบันได โดยไม่ต้องรอให้ผลตอบสนองเข้าสู่สภาวะคงที่ ของกระบวนการเป็นแบบ FOPDT ดังสมการที่ (19)

$$\Delta C(t) = K\Delta m \left[1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right] \quad (19)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของค่าเวลาคงที่ τ

$$\tau = \frac{-(t-t_0)}{\ln[1 - \Delta C(t)/K\Delta m]} \quad (20)$$

ทำการสุ่มค่าผลตอบสนองของสัญญาณเป็นเวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ $\Delta m = 1$ จะได้

$$\tau = \frac{-(t_1 - t_0)}{\ln[1 - \Delta C_1 / K]} \quad \text{ที่เวลา } t_1 \quad (21)$$

$$\tau = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln[1 - \Delta C_2 / K]} \quad \text{ที่เวลา } t_2$$

เนื่องจาก τ เป็นค่าเวลาคงที่เดียวกัน ดังนั้น

$$\frac{-(t_1 - t_0)}{\ln[1 - \Delta C_1 / K]} = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln[1 - \Delta C_2 / K]} \quad \text{หรือ} \quad (22)$$

$$(1 - \Delta C_2 / K)^{(t_1 - t_0)} = (1 - \Delta C_1 / K)^{(t_2 - t_0)}$$

ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ และให้ช่วงเวลาในการสุ่มข้อมูล (sampling data) $t_1 = (n+1)t_0/n$ และ $t_2 = (n+2)t_0/n$ สมการ (22) จึงพิจารณาได้ว่า

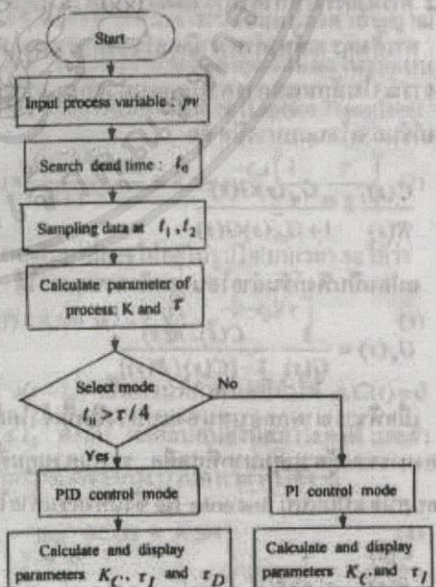
$$(1 - \Delta C_2 / K) = (1 - \Delta C_1 / K)^2 \quad (23)$$

ดังนั้นค่าคุณลักษณะของกระบวนการ คือ

$$K = \frac{\Delta C_1^2}{2\Delta C_1 - \Delta C_2}, \quad \tau = \frac{-(t-t_0)}{\ln[1 - \Delta C(t)/K]} \quad (24)$$

4. การออกแบบและการทำงาน

ในที่นี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกโปรแกรมตามหลักการทั้งหมดที่กล่าวมา และมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลต่ออยู่เพื่อรับค่าสัญญาณเข้ามาประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยเริ่มจากการป้อนสัญญาณขั้นบันไดให้กับกระบวนการขนาด $\Delta m = 1$ เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติจะตรวจจับค่าเวลา dead time ของกระบวนการและนำมาหารด้วยจำนวนเต็มบวก (n) ในที่นี้จะใช้ $n = 3$ เพื่อเป็นเวลาที่ใช้ในการสุ่ม t_1 และ t_2 เพื่อสุ่มค่า ΔC_1 และ ΔC_2 ไปคำนวณหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่เลือกตามสมการที่ 24 จากนั้นค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้งหมดที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามสูตรการสังเคราะห์ของ Dahlin ผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นจากงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 1 Controller Modes and Tuning Formulas for Dahlin Synthesis

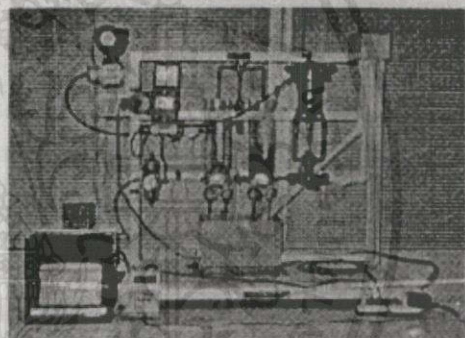
Process	Controller	Tuning Parameters
$G(s) = K$	I	$K_c = \frac{1}{Kr_c}$ tunable
$G(s) = \frac{K}{s+1}$	PI	$K_c = \frac{r}{Kr_c}, r = r$ tunable
$G(s) = \frac{K}{(r_1s+1)(r_2s+1)}$	PID	$K_c = \frac{r}{Kr_c}, r_1 = r_1, r_D = r_2$ tunable
$G(s) = \frac{Ks^{-l}}{s+1}$	PID ^a	$K_c = \frac{r}{K(r_0+r)}, r_1 = r, r_D = \frac{l}{2}$ tunable

^a This is last set of formulas applies to both PID and PI ($r_D = 0$) controller. PID is recommended when l_0 is greater than $r/4$ [6]



รูปที่ 7 เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

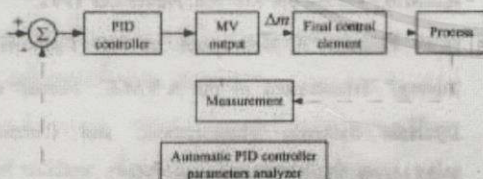
มีเตอร์ $K_c = 3.62, r_1 = 158 \text{ sec}$. เมื่อนำค่าที่ได้ไปปรับแต่งตัวควบคุมแล้ว ผลตอบสนองจะแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 กระบวนการควบคุมระดับของของเหลว

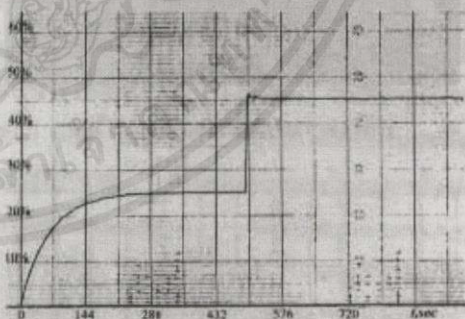
5. ผลการทดลอง

การใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ ต้องอาศัยสัญญาณเอาต์พุต (MV) ของตัวควบคุม PID เพื่อป้อนสัญญาณขึ้นบันไดดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 บล็อกโคะแกรมการทดลอง

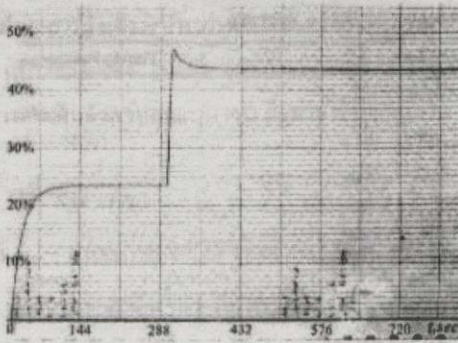
การทดลองที่ 1 ทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว ดังรูปที่ 9 เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติจะแสดงให้เห็นว่าการใช้การควบคุมในโหมดของตัวควบคุม PI ด้วยค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 10 ผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 25 % และ 45% ความเร็วของการบันทึก 250 มม./ชม. (Dahlin)

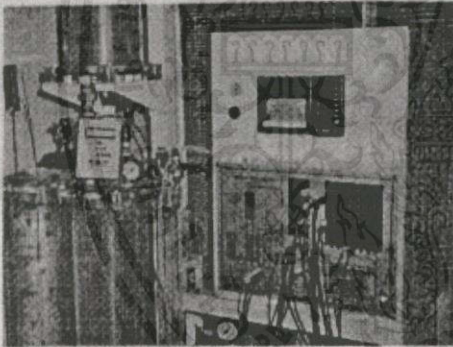
รูปที่ 11 แสดงถึงผลตอบสนองของกระบวนการเดียวกัน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ที่หาตามวิธีของ Ziegler-Nichols จะเห็นได้ว่าผลที่ได้ทั้ง 2 กรณีนั้นจะคล้ายกันและใช้ได้ก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นการนำเสนองานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยผู้เขียนและต้องขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

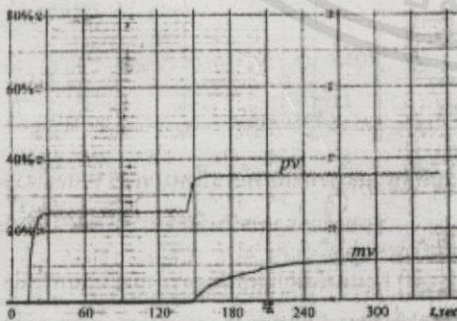


รูปที่ 11 ผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 25 % และ 45%
ความเร็วของการบันทึก 250 มม./ชม.(Ziegler-Nichols)

การทดลองที่ 2 ทดลองกับกระบวนการควบคุมการไหลดังรูปที่ 12 เครื่องวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นว่าควรใช้การควบคุมในโหมดของตัวควบคุม PI ด้วยค่าพารามิเตอร์ $K_c = 2.16$, $\tau_I = 5$ sec. เมื่อนำค่าที่ได้ไปปรับแก้ตัวควบคุมแล้ว ผลตอบสนองจะแสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 กระบวนการควบคุมการไหล



รูปที่ 13 ผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 25 % และ 35%
ความเร็วของการบันทึก 600 มม./ชม.

6. บทสรุป

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ เป็นอุปกรณ์เสริมการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ตัวควบคุม PID ในการควบคุมกระบวนการ เนื่องจากการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีนั้นจะต้องใช้เวลา มากสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์น้อย จากผลการทดลองกับ กระบวนการทั้งสองแบบโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ที่หาได้จากเครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พบว่าผลตอบสนองของกระบวนการมีผลเป็นที่น่าพอใจ และได้ผลใกล้เคียงกับการใช้ตัวควบคุม PID ที่หาค่าจาก Ziegler-Nichols ประโยชน์อีกประการหนึ่งของเครื่อง วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบ อัตโนมัติ คือ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อตัว ควบคุมราคาแพงมาใช้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] E.B. Dahlin, "Designing and Tuning Digital Controllers," Instruments and Control Systems, Vol.41 No.6, pp. 77, June 1968.
- [2] A.B. Rad, W.L. Lo, and K.M. Tsang, "Self Tuning PID Controller Using Newton-Raphson Search Method," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.44, No.5, pp. 717-725, October 1997.
- [3] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Settings For Automatic Controllers," Transactions of the A.S.M.E., Vol.64, pp. 759-768, November 1942.
- [4] D.W. Pessen, "A New Look at PID Controller Tuning," Transactions of the A.S.M.E., Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.116, pp. 553-557, September 1996.
- [5] Yokogawa, "Expert Self-Tuning Controllers," 2nd Edition, Yokogawa Electronic Corp., July 1987.
- [6] C. A. Smith, A. B. Corripio, "Principles and Practice of Automatic Process Control," John Wiley & Sons, Inc., pp. 210-254.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายพิทยา ปานนิล เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดตราด สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม จากภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540

ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งนายช่างเทคนิค ระดับ 3 สังกัดสำนักงานคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"