

การควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีไอดีอัตโนมัติ

Process Control II



โดย
นายวิวิธ บัวเพื่อน
นางสาวประอรรัตน์ กীরติผจญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...45731
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

b.....
i.....

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑๗๘ ๑๗๘

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีไอดีอัตโนมัติ

Process Control II

ผู้จัดทำ

1. นายวิวิธ บัวเฟื่อน เลขประจำตัว 41014203
2. นางสาวประอรรัตน์ กิริติผจญ เลขประจำตัว 41014255


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. สว่าง เลิศศิริสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีอัตโนมัติ

นายวิริธ บัวเพื่อน

นางสาวประอรรธน์ กิรติผจญ

อาจารย์สว่าง เลิศศิริสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการใช้ตัวควบคุมพีไอดีแบบ Auto-tuning ในกระบวนการควบคุมระดับของเหลวโดยใช้ค่าพีไอดีที่ได้จากการทำ Auto-tuning ซึ่งหาค่าดังกล่าวจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการ เช่น ค่าคงที่เวลา ค่าเวลาหน่วง จากนั้นใช้ตัวควบคุมที่ตั้งค่าพารามิเตอร์พีไอดีไว้ไปควบคุมและสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการ

Process Control II

Mr. Wiwid Buaphuean

Miss Pra-onrat Keeratiphajon

Mr. Sawang Lertthirasunthon Advisor

2001 year course

Abstract

In this thesis, objects to apply auto-tuning PID controller to level process control. Determine the characteristic process factors such as time constant and dead time to find PID parameters. Attach the controller with designed parameters PID to the process and then execute the system for observing the response.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ระบบควบคุม	3
2.1.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด	3
2.1.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด	3
2.2 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	4
2.2.1 การควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง	4
2.2.2 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน	5
2.2.3 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	7
2.2.4 ตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ	8
2.2.5 ตัวควบคุมแบบพีไอ	9
2.2.6 ตัวควบคุมแบบพีดี	9
2.2.7 ตัวควบคุมแบบพีไอดี	10
2.3 ผลตอบสนองต่อระบบต่อสัญญาณอินพุทชนิดต่างๆ	11
2.3.1 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง	11
2.3.2 ผลตอบสนองของระบบอันดับสอง	15
2.4 การปรับค่าตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	19
2.4.1 วิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ	19
2.4.2 การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	23
2.4.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols	30
2.4.4 การปรับค่าตัวควบคุมโดยวิธีลองผิดลองถูก	33
บทที่ 3 กระบวนการควบคุมระดับของเหลว	36
3.1 กระบวนการ	36
3.1.1 วาล์วควบคุม	36
3.1.2 Level Transducer by Measuring Capacitance	38
3.1.3. เครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม	41
3.1.4. Turbine Flow Meter	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2 คำควบคุม	43
3.2.1. Configuration as Controller	47
3.2.2 Data Display Section	48
3.2.3 การทำงาน	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	55
4.1 การทดลอง	55
4.2 ผลการทดลอง	56
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	61
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด	3
รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด	3
รูปที่ 2.3 (ก) บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง	5
(ข) ช่วง Difference Gap	5
รูปที่ 2.4 การควบคุมแบบสัดส่วน	5
รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน	6
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว	6
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอินทิกรัล	7
รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได	8
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ	8
รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของกิริยาการควบคุมแบบเดริเวทีฟ	9
รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบพีไอ	9
รูปที่ 2.12 การควบคุมแบบพีดี	10
รูปที่ 2.13 ผลตอบสนองการควบคุมแบบพีไอเทียบกับสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได	10
รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองของขั้นบันไดของระบบอันดับหนึ่ง (First-Order Step Response)	13
รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง เมื่อมีการหน่วงเวลา	14
รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได	18
(ก) Overdamped ($\zeta = 1.5$)	18
(ข) Critically damped ($\zeta = 1.0$)	18
รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	19
รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อทำการยุบบล็อกแล้ว	20
รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของการทดสอบแบบวงเปิดโดยการป้อนสัญญาณขั้นบันได	20
รูปที่ 2.20 ผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงจรเปิดต่อสัญญาณขั้นบันได	21
รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการหาค่า Δc_s	22
รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมของการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	23
รูปที่ 2.23 ผลตอบสนองระบบแบบป้อนกลับในรูปแบบอันดับหนึ่ง	24
รูปที่ 2.24 ผลการตอบสนองของระบบที่มีการหน่วงเวลา	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบพีไอดี	30
รูปที่ 2.26 ผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อปรับพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols	30
รูปที่ 2.27 การคำนวณด้วยวิธี Process Reaction Curve	31
รูปที่ 2.28 แสดงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธี Ultimate Method	32
รูปที่ 2.29 ผลการปรับค่า K ของตัวควบคุมแบบพี	
(ก) การปรับค่า K_p ที่เหมาะสม	34
(ข) การปรับค่า K_p มากเกินไป	34
(ค) การปรับค่า K_p น้อยเกินไป	34
รูปที่ 2.30 ผลการปรับค่า T_i ของตัวควบคุมแบบพีไอ	
(ก) การปรับค่า T_i ที่เหมาะสม	34
(ข) การปรับค่า T_i มากเกินไป	34
(ค) การปรับค่า T_i น้อยเกินไป	35
รูปที่ 2.31 ผลการปรับค่า T_d ของตัวควบคุมแบบพีไอดี	
(ก) การปรับค่า T_d ที่เหมาะสม	35
(ข) การปรับค่า T_d มากเกินไป	35
(ค) การปรับค่า T_d น้อยเกินไป	35
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของ Control Valve	36
รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Valve Position และ ค่า C_v	37
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของ Probe แบบต่างๆ	40
รูปที่ 3.4 แสดง (a) วิธีการวัดแบบต่อเนื่อง (b) วิธีการวัดแบบเป็นจุด	40
รูปที่ 3.5 Current to Pressure Transducer	41
รูปที่ 3.6 Current – to – pressure converter	41
รูปที่ 3.7 แสดงหลักการทำงานของ Turbine Flow Meter	42
รูปที่ 3.8 แสดงการต่อเชื่อมเพื่อใช้งาน ตัวควบคุม	44
รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบสำคัญของ Controller	45
รูปที่ 3.10 แสดง MV polarity selector switch	46
รูปที่ 3.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง MV และกระแสเอาต์พุต	47
รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของ (a) Basic Control และ (b) Cascade Control	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.13 แสดงบล็อกโคอะแกรม ของ (c) Ratio Control และ (d) Program Control	48
รูปที่ 3.14 แสดง 7-Segment Data Display Section	48
รูปที่ 3.15 เป็นรับคำสั่งของตัวควบคุม	49
รูปที่ 4.1 แสดงภาพจำลองการทำงานของกระบวนการ	55
รูปที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองของระบบเปิด	56
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=150$	57
รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=420$	58
รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=20$	58
รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=50$ $T_i=150$	59
รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=2$ $T_i=150$	59
รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=80$	60
รูปที่ 4.9 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=80$ โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย	60

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของระบบอันดับหนึ่ง	13
ตารางที่ 2.2 แสดงผลการตอบสนองเมื่อค่าของอัตราความหน่วงแตกต่างกัน	16
ตารางที่ 2.3 สูตรการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคาล์ดิน	29
ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากการคำนวณด้วยวิธี Process Reaction Curve	31
ตารางที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากการคำนวณด้วยวิธี Ultimate Method	35
ตารางที่ 3.1 แสดงขาสัญญาณที่ใช้งานของตัวควบคุม	43
ตารางที่ 3.2 แสดงรหัสพอลท์	52
ตารางที่ 3.3 แสดงรหัสความผิดพลาดในการใช้งาน	53



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันนี้ได้มีความก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยี ซึ่งในส่วนของกระบวนการทางอุตสาหกรรมก็ได้มีการนำเครื่องจักรอัตโนมัติมาใช้กันอย่างแพร่หลาย และเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จำเป็นต้องมีส่วนควบคุมไว้ใช้กับเครื่องจักรเหล่านั้น

ด้วยการเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้ศึกษาถึงการใช้งานตัวควบคุมชนิด PID ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่นิยมแพร่หลายในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เนื่องจากมีหลายบริษัทได้ผลิตตัวควบคุมแบบนี้สำเร็จรูปมาสำหรับระบบต่างๆ ให้สามารถเลือกใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งในส่วนของโครงการนี้ได้นำมาควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว โดยจะต้องมีการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวรวมทั้งการทำงานของกระบวนการวัดระดับของเหลวทั้งหมดแล้วนำเสนอในแบบจำลองการทำงาน (Process Flow Diagram) เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานและค้นคว้าเพิ่มเติมได้สะดวกยิ่งขึ้น

ขอบเขตของโครงการ

1. เป็นการศึกษากระบวนการควบคุมระดับของเหลว โดยการส่งสัญญาณควบคุมผ่านวาล์วควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมให้ได้ระดับตามต้องการ
2. กระบวนการของเราจะมีทั้งอัตราไหลเข้าที่ผ่านวาล์วควบคุม และอัตราไหลออกที่ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในถัง โดยที่เครื่องสูบน้ำทำงานอัตราคงที่
3. ใช้หลักการควบคุมแบบ Basic Feedback Control กล่าวคือตัวควบคุมจะรับสัญญาณ อินพุตมาจากเครื่องวัดระดับ (Level Transmitter) เท่านั้น
4. สามารถเขียนแผนภูมิจำลองกระบวนการ (Mimic) ได้

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของระบบโดยรวมถึงชนิดและลักษณะเฉพาะตัวของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ เช่น วาล์วควบคุม, เครื่องวัดระดับ เป็นต้น
2. ศึกษาการทำงานของตัวควบคุม และวิธีการใช้งาน
3. ศึกษาการหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและตัวควบคุม
4. ทำการทดสอบระบบโดยป้อนค่าสัญญาณระดับ ให้กับระบบแล้วสังเกตผลตอบสนอง ซึ่งเป็นแบบระบบควบคุมแบบวงเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลือกค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมจากการคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ได้จากผลตอบสนองของกระบวนการ
6. ทำการทดลองควบคุมกระบวนการ โดยใช้ตัวควบคุมที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่หาค่ามาได้
7. ปรับค่าพีไอดีให้เหมาะสมกับระบบยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่น่าพอใจที่สุด

ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. เข้าใจและสามารถใช้งานตัวควบคุมแบบพีไอดีอัตโนมัติได้จริง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากในงานอุตสาหกรรมปัจจุบัน
2. เรียนรู้และเข้าใจการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการ
3. เข้าใจการใช้สัญลักษณ์มาตรฐานการวัดและการควบคุม (Instrument Society of America : ISA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

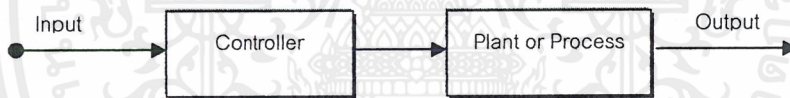
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบควบคุม

ในระบบควบคุมที่มีอยู่เราสามารถที่จะแบ่งแยกระบบควบคุมนั้นๆออกตามคุณลักษณะของการทำงาน ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วเราจะสามารถจะจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop control system) และระบบควบคุมแบบวงปิดหรือป้อนกลับ (Closed-loop control system or Feedback control system)

2.1.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

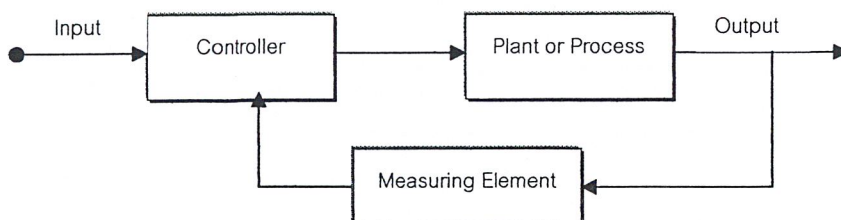
ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุทของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบนี้ เอาต์พุทของระบบจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุท รูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาต์พุทของระบบควบคุมแบบวงเปิด



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

2.1.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด

ระบบควบคุมแบบนี้ เป็นระบบควบคุมที่นำสัญญาณเอาต์พุทที่ได้จากกระบวนการนั้นป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทที่ต้องการ ซึ่งจะได้สัญญาณความคลาดเคลื่อนโดยเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุทและสัญญาณป้อนกลับและจะถูกป้อนให้กับตัวควบคุมอีกครั้งเพื่อที่จะเป็นการลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบวงปิดดังรูป



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมที่นิยมใช้ในกระบวนการ (Process) ได้แก่ การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเป็นการควบคุมแบบใช้มนุษย์ปรับค่าควบคุมหรือแบบอัตโนมัติก็ได้ ตัวอย่างเช่น ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำในอ่างอาบน้ำ ผู้ควบคุมอาจจะใช้มือข้างหนึ่งจุ่มลงในอ่างเพื่อวัดอุณหภูมิ และใช้มืออีกข้างปรับน้ำร้อนที่ไหลเข้าให้มากหรือน้อย เพื่อให้ น้ำในอ่างมีอุณหภูมิตามต้องการ การควบคุมแบบนี้จะเรียกว่าเป็นการควบคุมป้อนกลับแบบใช้มนุษย์ปรับค่าควบคุม (Manual) ถ้าผู้ควบคุมใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิแล้ว เขาก็จะสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างได้เที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าถ้าทำการวัดได้อย่างเที่ยงตรงแล้วก็จะสามารถทำให้การควบคุมได้ดีขึ้น สำหรับในกรณีการควบคุมป้อนกลับแบบอัตโนมัตินั้นจะต้องใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างแทนคนควบคุม จากนั้นจึงส่งค่าของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่วัดได้ไปยังเครื่องควบคุมด้วยเครื่องส่งสัญญาณเพื่อไปทำการเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการ และเครื่องควบคุมก็จะสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อ ไปควบคุมการเปิดปิดของวาล์วควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำร้อนที่ไหลเข้าอ่างให้มากขึ้นหรือน้อยลง เพื่อให้ น้ำในอ่างมีอุณหภูมิตามต้องการ

2.2 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Controller)

ตัวควบคุม ทำหน้าที่ตรวจสอบสภาพของกระบวนการ โดยรับสัญญาณวัดจากเครื่องวัดเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย และสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่เป้าหมายตามที่ต้องการ

ชนิดของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม จำแนกออกได้ตามลักษณะการควบคุม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง

ในการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งการควบคุมจะทำงานในตำแหน่งที่คงที่เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น ในบางครั้งจึงมีชื่อเรียกว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิด การควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งนั้นจะเป็นการควบคุมแบบง่าย ๆ และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานควบคุมอุตสาหกรรม และในกรณีที่ผลจากการแกว่ง (Oscillate) นั้นเป็นที่ยอมรับได้

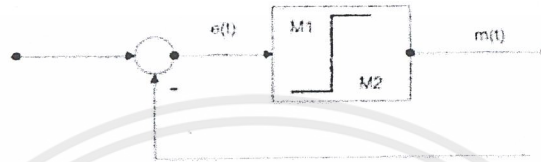
กำหนดให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ และสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ ฉะนั้นในการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งนั้น สัญญาณ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเป็นบวกหรือลบ นั่นคือ

$$m(t) = M1 \quad \text{สำหรับ } e(t) > 0 \quad : \text{โดยที่ } M1 \text{ และ } M2 \text{ เป็นค่าคงที่}$$

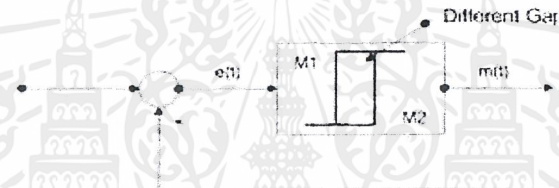
$$m(t) = M2 \quad \text{สำหรับ } e(t) < 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3(ก) แสดงถึงบล็อกไดอะแกรม ของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่ง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง (Switching) ของการ ควบคุมนั้นเรียกว่า Difference Gap ดังแสดงดังรูปที่ 2.3(ข) ช่วง Difference Gap นี้บางครั้งเป็นการ ทำให้เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการเปิด-ปิดบ่อยครั้งเกินไป



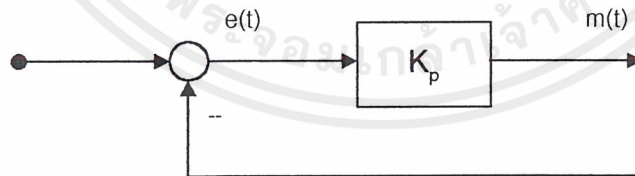
รูปที่ 2.3(ก) บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.3 (ข) ช่วง Difference Gap

2.2.2 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action)

เป็นกิริยาการควบคุมซึ่งค่อนข้างจะสม่ำเสมอและเป็นเชิงเส้น ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ อินพุตและเอาต์พุต สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปของบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การควบคุมแบบสัดส่วน

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม(หรือเอาต์พุตของตัวควบคุม) $m(t)$ กับสัญญาณค่าความ คลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

$$m(t) = K_p \times e(t)$$

หรือ

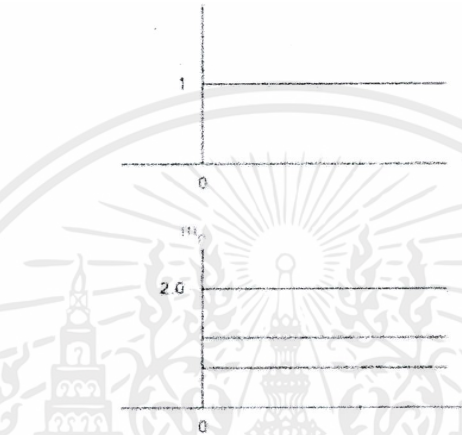
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PB = \left(\frac{1}{K_p} \right) \times 100 \%$$

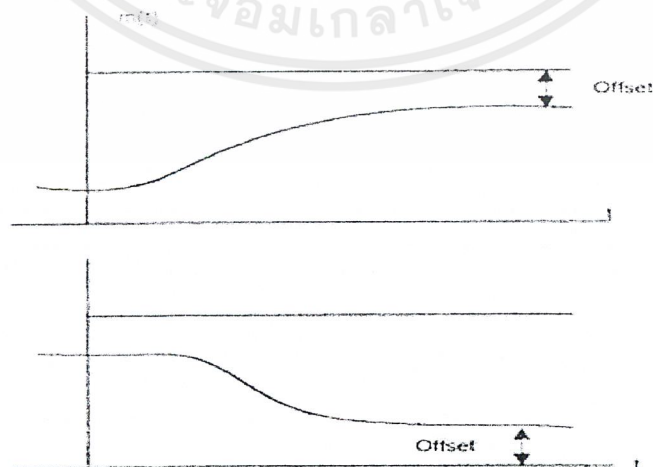
โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือเกน (Gain)

Proportional Band (PB) เป็นการเปลี่ยนแปลงของอินพุตเพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตมากที่สุดในการควบคุมแบบสัดส่วน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน

การเกิด Offset เป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบสัดส่วน ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมแบบสัดส่วนนั้นไม่สามารถควบคุมระบบที่มีโหลด (load) เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควร และในกรณีที่โหลดคงที่แต่เปลี่ยนค่าของระดับค่าเป้าหมาย (Set point) ที่ควบคุมไปก็就会产生 Offset ขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่ Offset ก็คือค่าความแตกต่างของอินพุตและเอาต์พุตที่สถานะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่นั่นเอง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความล้มพียงระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถลดค่า Offset ได้โดย

1. เพิ่มอัตราขยายแบบสัดส่วน
2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สถานะเริ่มต้น (m_0)

$$m_r = (K_p * e) + m_0$$

3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

2.2.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุม $M(t)$ และค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

$$m(t) = K_I \times \int_0^t e(t) dt$$

หรือ

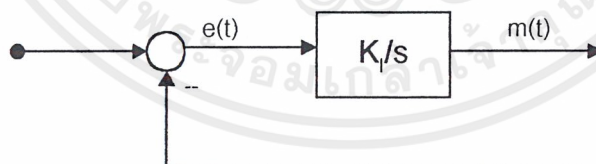
$$\frac{dm(t)}{dt} = K_I \times e(t)$$

โดยที่ K_I เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ของตัวแปรควบคุมแบบอินทิกรัลคือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{s}$$

โดยสามารถแสดงในรูปของบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 2.7

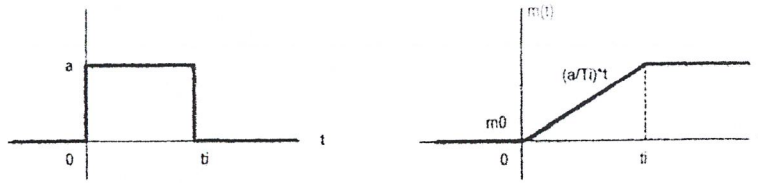


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ Integral

ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด $e(t)$ ดังนั้น ถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้น ทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไป จากค่าที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความผิดพลาด โดยเร็ว (โดยลดค่าความผิดพลาดนี้หมดไป) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายจะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบอยู่ในสถานะคงที่แล้วนั่นเอง

ดังนั้นในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่ทำให้เกิดค่า Offset ขึ้นมา ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได

2.2.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Action)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

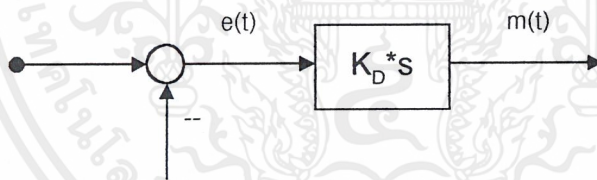
$$m(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt}$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_D s$$

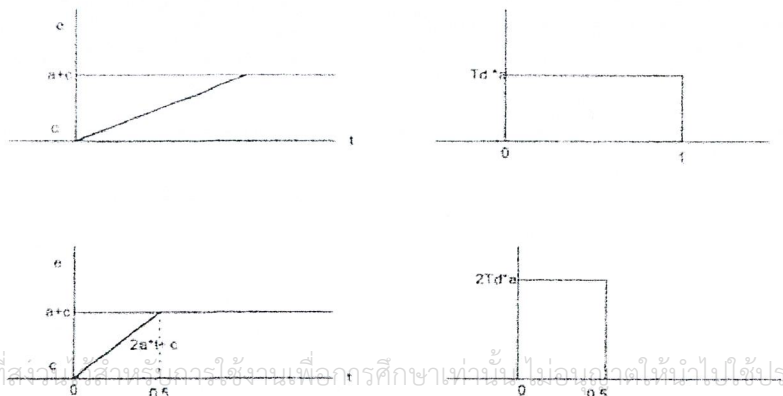
โดยที่ K_D เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

เมื่อเพิ่มการควบคุมแบบอนุพันธ์ ไปในเครื่องควบคุมจะเป็นการบวกมุมนำ (Phase lead) ในเครื่องควบคุมเพื่อชดเชยมุมตาม (Phase lag) ในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Loop Transfer Function) ซึ่งขบวนการส่วนใหญ่จะมีค่ามุมเป็นแบบมุมตาม





รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของกิริยาการควบคุมแบบเดริเวทีฟ

2.2.5 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุต เป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมของค่าอินพุตและค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$m(t) = (K_p \times e(t)) + \left(\frac{K_p}{T_I} \right) \int_0^t e(t) dt$$

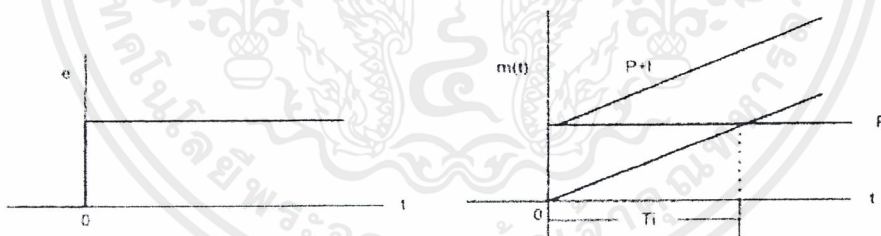
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรือเกน (gain)

T_I เป็นค่าของ Integral Time

ผังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบพีไอ

ข้อได้เปรียบของการรวมชุดอินทิกรัลและชุดควบคุมแบบสัดส่วน คือชุดอินทิกรัลจะกำจัด Offset ของชุดควบคุมแบบสัดส่วนให้หมดไป

2.2.6 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Action)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุตกับผลคูณคาบเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุต โดยสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

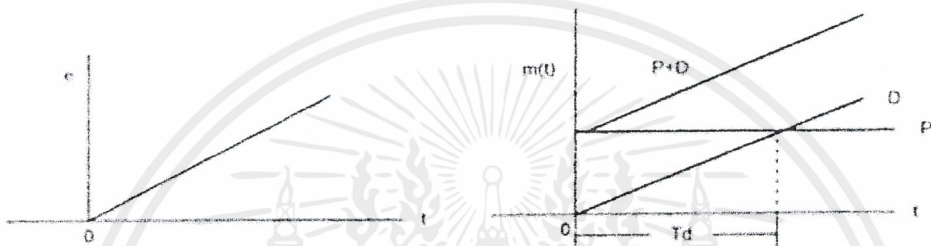
$$m(t) = (K_p \times e(t)) + \left(K_p \times T_d \times \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรือเกน (Gain)

T_d เป็นค่าของ Derivative time

ผังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การควบคุมแบบพีดี

ข้อได้เปรียบในการควบคุมแบบพีดีนี้คือ เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นแบบเชิงเส้น (Ramp) จะมีผลตอบสนองทางเวลาได้เปรียบกว่าการควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว

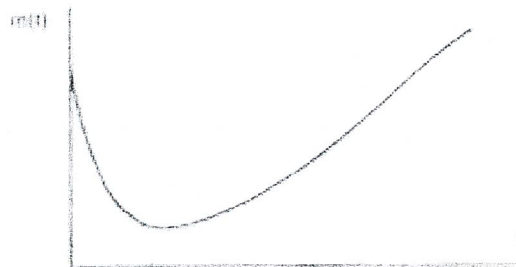
2.2.7 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุตและค่าผลคูณของเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต โดยสามารถแสดงได้ตามสมการ ต่อไปนี้

หรือ

$$m(t) = (K_p \times e(t)) + \left(K_p \times T_d \times \frac{de(t)}{dt} \right) + \left(\frac{K_p}{T_i} \right) \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$$



รูปที่ 2.13 ผลตอบสนองการควบคุมแบบพีไอดีกับสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุทชนิดต่างๆ

ในที่นี้จะพิจารณาผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและอันดับสอง ดังนี้

2.3.1 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง (Response of First-Order System)

พิจารณาสมการอันดับหนึ่ง ต่อไปนี้

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt} \right) + (a_0 \times y(t)) = bx(t) + c \quad \dots\dots\dots$$

โดยที่ $y(t)$ = เอาท์พุท หรือ ตัวแปรตาม (Output or Dependent Variable)
 $x(t)$ = อินพุท (Input)
 t = เวลา (time)
 a_0, a_1, b, c = ค่าคงที่ (Constant)

ถ้าพิจารณาค่า ณ สถานะเริ่มต้น (Initial Steady State) ของระบบ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$a_0 \times y(0) = b \times x(0) + c \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเริ่มต้นของ x และ y ได้โดยการนำสมการ (2.1) ลบด้วยสมการ (2.2) ดังนี้

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt} \right) - (a_0 y(0)) + (a_0 y(t)) = bx(0) - bx(0) + c - c$$

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt} \right) + a_0 (y(t) - y(0)) = b(x(t) - x(0))$$

ให้ $Y(t) = y(t) - y(0)$
 $X(t) = x(t) - x(0)$

จะได้ว่า

$$\left(a_1 \times \frac{dY(t)}{dt} \right) + a_0 Y(t) = bX(t) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

แต่ในความเป็นจริงแล้วค่า $\frac{dY(t)}{dt}$ ก็คือค่าความแตกต่างระหว่างค่า ณ เวลาใดๆ กับค่า ณ จุดเริ่มต้นอยู่แล้วจึงได้ว่า

$$\frac{dY(t)}{dt} = \frac{dY(t)}{dt}$$

ดังนั้นสมการ (2.3) จะกลายเป็น

$$\left(a_1 \times \frac{dY(t)}{dt} \right) + a_0 Y(t) = bX(t) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) นั้น ไม่ได้เป็นรูปแบบมาตรฐาน (Standard Form) แต่เราสามารถทำให้เป็นรูปแบบมาตรฐานได้ โดยการนำค่า a_0, a_1 หรือ b ค่าใดค่าหนึ่งนำไปหารสมการ (2.4) ดังนั้นเราจะได้รูปแบบมาตรฐาน ดังนี้ (ในที่นี้เรานำ a_0 หารตลอดสมการที่ (2.4))

$$\left(\frac{a_1}{a_0} \right) \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = \left(\frac{b}{a_0} \right) X(t)$$

ให้ $\tau = (a_1/a_0) =$ ค่าคงที่เวลา (Time constant)

$K = (b/a_0) =$ อัตราการขยายสัญญาณ ณ สถานะคงตัว (Steady-state Gain)

จะได้ว่า

$$\tau \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = KX(t) \quad \dots\dots\dots$$

โดยปกติสมการอันดับหนึ่งต่างๆ ไปนั้น สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานนี้ได้ จากรูปแบบมาตรฐานใช้ลาปลาซ (Laplace) โดยให้ค่าเริ่มต้นของ $y(0) = 0$ จะได้ว่า

$$\tau s Y(s) + y(0) + Y(s) = KX(s)$$

$$\tau s Y(s) + Y(s) = KX(s)$$

$$\tau s Y(s)(\tau s + 1) = KX(s)$$

$$\therefore Y(s)(\tau s + 1) = \left[\frac{K}{\tau s + 1} \right] X(s) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

จากรูปแบบนี้จะได้ว่า

$K =$ อัตราขยายของระบบ (Gain)

$\tau =$ ค่าคงที่เวลา (Time Constant)

$K =$ อัตราขยายของระบบ (Gain)

$\tau =$ ค่าคงที่เวลา (Time Constant)

เราจะใช้รูปแบบของสมการ (2.6) ในการพิจารณาผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบต่างๆ ดังนี้

2.3.1.1 ผลตอบสนองต่ออินพุตแบบขั้นบันได (Step Response)

ให้ $\Delta x =$ ขนาดของสัญญาณขั้นบันได (Magnitude)

$u(t) =$ ขนาดของสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับหนึ่ง (Unit step function)

จะได้ว่า

$$X(t) = \Delta x * u(t) \quad ; u(t) = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หารูปแบบทรานส์ฟอร์มของสมการโดยการแปลงลาปลาซ จะได้ว่า

$$X(s) = \frac{\Delta X}{s} \tag{2.7}$$

แทนสมการ (2.7) ในสมการ (2.6) จะได้

$$Y(s) = \left(\frac{K}{\tau s + 1}\right) \times \left(\frac{\Delta X}{s}\right)$$

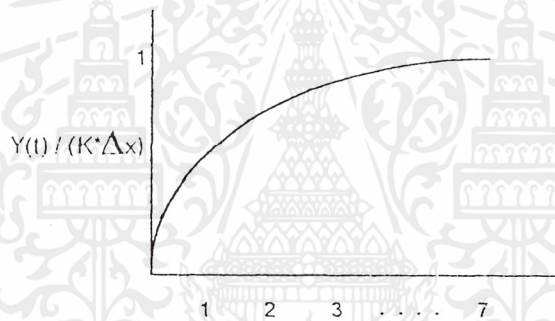
$$Y(s) = \left(\frac{-K\Delta X}{s + 1/\tau}\right) + \left(\frac{K\Delta X}{s}\right) \tag{2.8}$$

อินเวอร์สลาปลาซสมการ (2.8) กลับให้อยู่ในรูปของเวลา จะได้

$$Y(t) = (K\Delta X \times u(t)) + (K\Delta X \times e^{-t/\tau})$$

$$Y(t) = K\Delta X(u(t) - e^{-t/\tau})$$

ซึ่งสามารถแสดงผลตอบสนองของสมการนี้ออกมาเป็นกราฟและตาราง ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองของขั้นบันไดของระบบอันดับหนึ่ง (First-Order Step Response)

ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันได ของระบบอันดับหนึ่ง

1/τ	Y(t)/K
0	0
1	0.632
2	0.865
3	0.95
4	0.982
5	0.993
.	.
.	.
.	.
∞	1

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่า ในช่วงต้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุตจะมีค่าค่อนข้างมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการเปลี่ยนแปลงก็มีค่าลดลง ในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) นั่นเอง

2.3.1.2 ผลตอบสนองเมื่อมีการหน่วงเวลา (Response with time delay)

ในกระบวนการบางอย่างจะพบว่ามีการหน่วงเวลาของเอาต์พุต (Time delay or transporation lag or dead time) ค่ะ โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

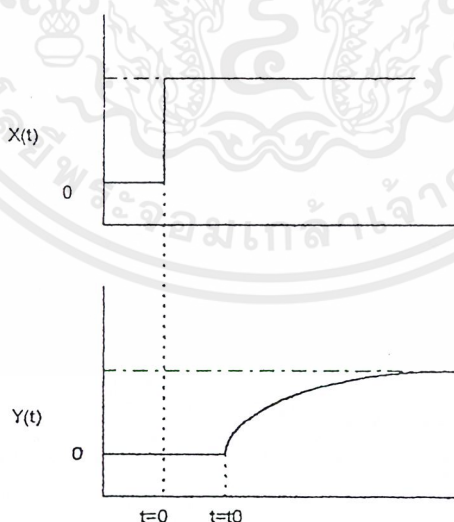
$$Y(s) = \left(\frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \right) X(s) \dots\dots\dots(2.9)$$

ซึ่งในวงเล็บเป็นค่าที่สำคัญ เราสามารถใช้ค่าสมการส่วนนี้ ในการประมาณค่าผลตอบสนองของระบบที่มีอันดับสูงๆได้ เราเรียกสมการ (2.9) นี้ว่า “ระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-order-plus-dead-time: FOPDT)” ถ้าสัญญาณอินพุตของระบบมีความแตกต่างกัน สมการของการหน่วงเวลานี้ก็จะแตกต่างกันไป ดังนี้

ผลตอบสนอง สัญญาณเข้าแบบขั้นบันได (Step Response) จะได้สมการเป็น

$$Y(t) = (K\Delta x \times u(t - t_0))(1 - e^{-(t-t_0)/\tau})$$

โดยได้ผลตอบสนอง ดังกราฟ



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง เมื่อมีการหน่วงเวลา

โดยที่ผลตอบสนอง ณ.เวลา $t < t_0$ นั้นจะมีค่าเท่ากับ 0 จากพจน์ของ $u(t - t_0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ผลตอบสนองของระบบอันดับสอง (Response of Second-Order System)

ผลตอบสนองของระบบอันดับสองนี้มีความแตกต่างกันขึ้นกับค่ารากของตัวส่วนในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันว่ามีค่าเท่าไร ถ้า

- ค่ารากเป็นจำนวนจริง ผลตอบสนองจะเรียกว่า “ระบบที่มีกระบวนการความหน่วงเวลามาก (Overdamped)”
- ค่ารากเป็นจำนวนเชิงซ้อน ผลตอบสนองจะเรียกว่า “ระบบที่มีกระบวนการความหน่วงน้อย (Underdamped)” ซึ่งมักจะเกิดในกระบวนการที่มีอันดับสูงกว่าอันดับสอง

ระบบอันดับสอง สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้า และตัวแปรออก ในรูปแบบสมการทั่วไป ได้ดังนี้

$$a_2 \left(\frac{d^2 y(t)}{dt^2} \right) + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b x(t) + c \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

- โดยที่ $y(t)$ = ตัวแปรออก
- $x(t)$ = ตัวแปรเข้า
- a_0, a_1, a_2, b, c = ค่าคงที่ (Time Constant)

สมมติให้สมการ ณ สถานะเริ่มต้นมีค่าเป็น

$$a_0 \times y(0) = b \times x(t) + c \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

นำสมการ (2.10) ลบด้วยสมการที่ (2.11) จะได้ว่า

$$a_2 \left(\frac{d^2 Y(t)}{dt^2} \right) + a_1 \frac{dY(t)}{dt} + a_0 Y(t) = b X(t) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

- โดยที่ $Y(t)$ = $y(t) - y(0)$
- $X(t)$ = $x(t) - x(0)$

แปลงสมการ (2.12) ให้อยู่ในรูปมาตรฐาน (โดยการหารด้วย a_0 ตลอดสมการ) ดังนี้

$$\left(\frac{a_2}{a_1} \right) \left(\frac{d^2 Y(t)}{dt^2} \right) + \left(\frac{a_1}{a_0} \right) \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = \left(\frac{b}{a_0} \right) X(t)$$

ให้ $\tau = \left(\frac{a_2}{a_0} \right)^{1/2} =$ คุณสมบัติของเวลา (Characteristic Time)

$\zeta = \frac{a_1}{2\tau a_0} = \frac{a_1}{2\sqrt{a_2 a_0}} =$ อัตราความหน่วง (Damping Ratio)

$K = \left(\frac{b}{a_0} \right) =$ อัตราขยายของกระบวนการ (Steady-state Gain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการใหม่เป็น

$$\tau^2 \left(\frac{d^2 Y(t)}{dt^2} \right) + 2\zeta\tau \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = KX(t) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

ถ้าปลาซสมการที่ (2.10) โดยอาศัยคุณสมบัติเชิงเส้น และสมการอนุพันธ์ จะได้ว่า

$$Y(s) = \left(\frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1} \right) X(s) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

หาค่ารากของ $\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1$ (โดยพิจารณาเป็นแบบ Quadratic) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1 = 0$$

$$r_{1,2} = \frac{-\zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1}}{\tau}$$

จะพบว่าในการพิจารณาค่ารากของระบบ ค่าที่ได้ อาจจะเป็นได้ทั้งจำนวนจริง และจำนวนเชิงซ้อน โดยที่

- ค่าของอัตราความหน่วงมากกว่า 1 ($\zeta > 1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนจริง
- ค่าของอัตราความหน่วงน้อยกว่า 1 ($\zeta < 1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนเชิงซ้อน 2 ค่าที่เป็นคอนจูเกตกัน (Conjugate numbers)
- ค่าของอัตราความหน่วงเท่ากับ 1 ($\zeta = 1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นค่าจริง 2 ค่าที่เท่ากัน โดยมีค่าเท่ากัน $(-1/\tau)$
- ค่าของอัตราความหน่วงเท่ากับ 0 ($\zeta = 0$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนเชิงซ้อนที่ค่าจริง มีค่าเป็น 0 (real part = 0) นั่นคือ รากจะมีค่าเท่ากับ $\pm(1/\tau)*i$

อัตราหน่วงที่มีค่าแตกต่างกันดังข้างต้นนี้จะทำให้เกิดผลตอบสนองที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 แสดงผลการตอบสนองเมื่อค่าของอัตราความหน่วงแตกต่างกัน

ζ	ผลตอบสนอง (Response)
$\zeta > 1$	กระบวนการที่มีความหน่วงมาก (Overdamped)
$\zeta = 1$	กระบวนการที่มีความหน่วงวิกฤติ (Critically damped)
$0 < \zeta < 1$	กระบวนการที่มีความหน่วงน้อย (Underdamped)
$\zeta = 0$	กระบวนการที่ไม่มีความหน่วง (Undamped)
$-1 < \zeta < 0$	กระบวนการที่ไม่เสถียร (Unstable)
$\zeta \leq -1$	กระบวนการที่หนีออก (Run-away)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 ภาวะหน่วงมากที่มีความหน่วงมาก (Overdamped Response)

ภาวะหน่วงมากที่มีความหน่วงมาก คือภาวะหน่วงที่ $\zeta > 1$ ซึ่งจะทำให้ได้ค่ารากที่เป็นจริง 2 ค่าที่ต่างกัน จากสมการ (2.13) พิจารณาค่ารากโดยแยกตัวส่วนออกเป็น 2 พจน์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1 &= \tau^2 (s-r_1)(s-r_2) \\ &= (\tau_{e1}s + 1)(\tau_{e2}s + 1) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

โดยที่ τ_{e1}, τ_{e2} = Effective Time Constants ซึ่งมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \tau_{e1} &= -1/r_1 = \frac{\tau}{\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}} \\ \tau_{e2} &= -1/r_2 = \frac{\tau}{\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}} \end{aligned}$$

แทนสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$Y(s) = \left[\frac{K}{(\tau_{e1}s + 1)(\tau_{e2}s + 1)} \right] X(s) \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.16) นี้จะนำไปใช้ในการพิจารณาหาผลตอบสนองของระบบอันดับสอง โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสัญญาณเข้าเป็นขั้นบันได ดังนี้

สมมติให้สัญญาณเข้าเป็นขั้นบันได ที่มีขนาดเป็น Δx ซึ่งมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน คือ $X(s) = \Delta x/s$ เมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้แทนลงในสมการ (2.16) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Y(s) &= \left[\frac{K}{(\tau_{e1}s + 1)(\tau_{e2}s + 1)} \right] \frac{\Delta x}{s} \\ &= \left(\frac{A1}{s + 1/\tau_{e1}} \right) + \left(\frac{A2}{s + 1/\tau_{e2}} \right) + \left(\frac{A3}{s} \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.17a)$$

คำนวณหาค่า A1, A2, A3 ได้เป็น

$$A1 = \frac{K\Delta x}{\left(-1/\tau_{e1}\right)\left(1 - \tau_{e1}/\tau_{e2}\right)}$$

$$A2 = \frac{K\Delta x}{\left(-\frac{1}{\tau_{e2}}\right)\left(1 - \frac{\tau_{e2}}{\tau_{e1}}\right)}$$

$$A3 = K\Delta x$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (2.17) แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$Y(s) = K\Delta x \left\{ 1 - \left(\frac{\tau_{e1}}{(\tau_{e1} - \tau_{e2})(s + 1/\tau_{e1})} \right) - \left(\frac{\tau_{e2}}{(\tau_{e2} - \tau_{e1})(s + 1/\tau_{e2})} \right) \right\}$$

ลาปลาซสมการข้างต้นจะได้ว่า

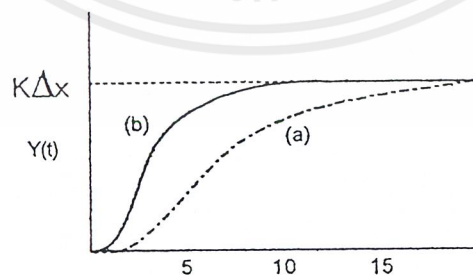
$$Y(t) = K\Delta x \left\{ u(t) - \left(\frac{\tau_{e1}}{(\tau_{e1} - \tau_{e2})} \right) e^{-t/\tau_{e1}} - \left(\frac{\tau_{e2}}{(\tau_{e2} - \tau_{e1})} \right) e^{-t/\tau_{e2}} \right\} \dots\dots\dots (2.17b)$$

2.2.2.1 กระบวนการที่มีความหน่วงวิกฤติ ($\zeta = 1$)

ค่ารากที่ได้ของกระบวนการนี้จะมีค่าเท่ากัน คือ $\tau_{e1} = \tau_{e2} = \tau$ ทำให้ได้ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าเป็นขั้นบันไดมีค่าเป็น (โดยการแทนค่าของ τ_{e1} และ τ_{e2} ในสมการที่ (2.17b))

$$Y(t) = K\Delta x \left(u(t) - \left(\frac{1}{\tau} + 1 \right) e^{-t/\tau} \right)$$

สามารถแสดงผลตอบสนองของระบบที่มีความหน่วงมาก และระบบที่มีความหน่วงวิกฤติต่อสัญญาณขั้นบันได ได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได

(a) Overdamped ($\zeta = 1.5$)

(b) Critically damped ($\zeta = 1.0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

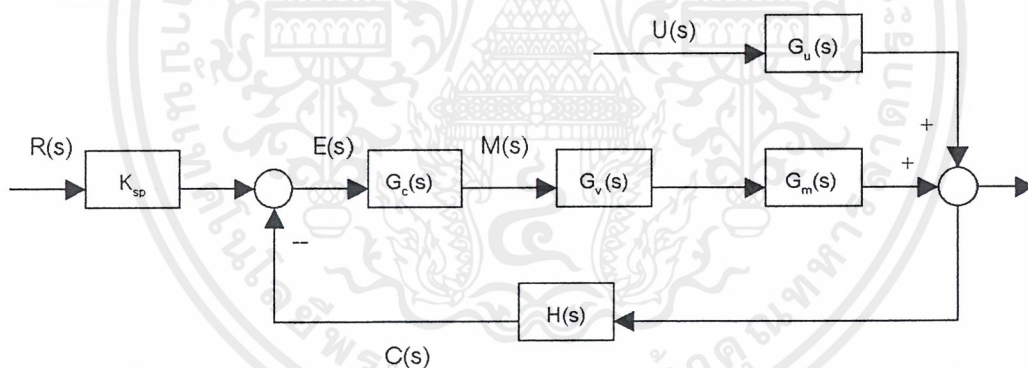
2.4 การปรับค่าตัวควบคุมระบบป้อนกลับ (Tuning of Feedback Controllers)

ในการวิเคราะห์และออกแบบตัวควบคุมนั้น จำเป็นต้องศึกษาธรรมชาติและคุณสมบัติของกระบวนการ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการควบคุมทั้งหมด เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการเมื่อมีการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและการทำงานร่วมกับตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมตัวอื่นๆซึ่งทำให้สามารถเลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมได้เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการมีผลตอบสนองที่ดีที่สุด

วิธีทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในกระบวนการอุตสาหกรรมเพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุทให้กระบวนการเพื่อสังเกตผลที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าพารามิเตอร์หรือค่าคุณลักษณะที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

2.4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ

พิจารณาบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

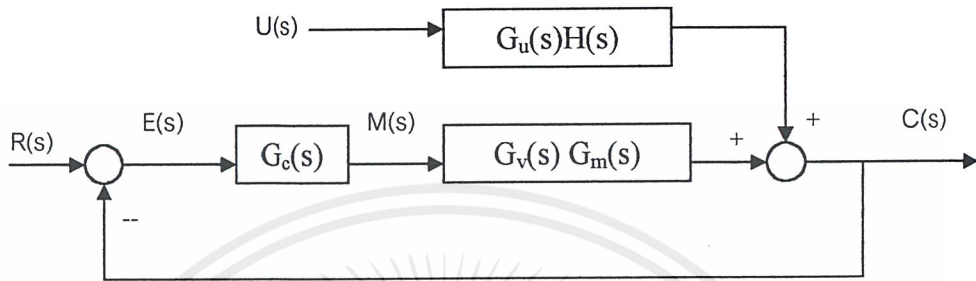
โดยที่

- $R(s)$ คือสัญญาณค่าเป้าหมาย
- $M(s)$ คือสัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุม
- $C(s)$ คือสัญญาณเอาต์พุทของทรานส์มิเตอร์
- $E(s)$ คือสัญญาณค่าผิดพลาด
- $U(s)$ คือสัญญาณรบกวน
- $G_c(s)$ คือทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของตัวควบคุม
- $G_v(s)$ คือทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย
- $G_m(s)$ คือทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุมและสัญญาณการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G_u(s)$ คือทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุมและสัญญาณรบกวน

$H(s)$ คือคือทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของเซนเซอร์และทรานส์มิเตอร์



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อทำการยุบบล็อกแล้ว

เมื่อยุบบล็อกไดอะแกรมของรูป 2.17 จะได้รูปใหม่ดังรูปที่ 2.18 โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

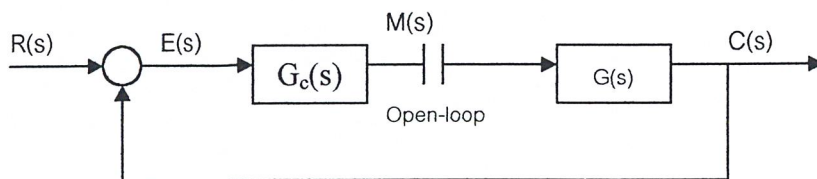
$$G(s) = G_v(s) G_m(s) H(s)$$

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการมักจะอยู่ในรูปของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-Order-Plus-Dead-Time: FOPDT) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากที่สุด ดังสมการ

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \dots\dots\dots (2.18)$$

- เมื่อ K = อัตราขยายของกระบวนการ (Process Gain)
- t_0 = ค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ (Process Dead Time)
- τ = ค่าคงที่เวลาของกระบวนการ (Process Time Constant)

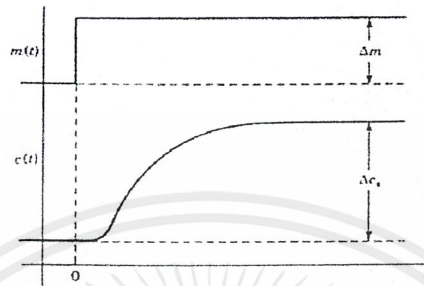
ซึ่งการหาตัวแปรเหล่านี้สามารถหาได้โดยใช้วิธีการทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด (Open-loop) เนื่องจากการทดสอบเฉพาะกระบวนการเท่านั้นและไม่พิจารณาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น โดยทำการป้อนสัญญาณขั้นบันได (Step Signal) ดังรูป



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของการทดสอบแบบวงเปิดโดยการป้อนสัญญาณขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองของกระบวนการจะมีลักษณะเป็นรูปตัว S ดังในรูปที่ 2.20 ดังนั้นการทดสอบนี้สามารถจะกระทำกับกระบวนการอันดับสองหรือกระบวนการอันดับสูงที่มีอัตราหน่วง (Damping Ratio) มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งด้วย เนื่องจากมีผลตอบสนองเป็นรูปตัว S ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.20 ผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงจรมีการเปิดต่อสัญญาณขั้นบันได

ในที่นี้จะพิจารณาว่าระบบไม่มีการถูกรบกวนขณะทดสอบด้วยสัญญาณขั้นบันได ดังรูปบล็อกไดอะแกรมที่ 2.19 ซึ่งรูปแบบกราฟของผลตอบสนองของกระบวนการในการทดสอบที่บันทึกลงมานั้น จะเรียกว่า Process Reaction Curve

จากรูปที่ 2.18 จะได้ผลตอบสนองของทรานส์มิเตอร์เป็นดังนี้

$$C(s) = G(s)M(s)$$

สำหรับระบบ FOPDT ที่มีสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดขนาด Δm จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$C(s) = \frac{Ke^{-\tau_0 s}}{\tau s + 1} \cdot \frac{\Delta m}{s}$$

$$C(s) = K\Delta m e^{-\tau_0 s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

อินเวอร์สลาปลาซสมการที่ (2.19)

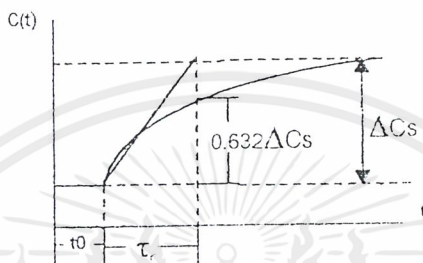
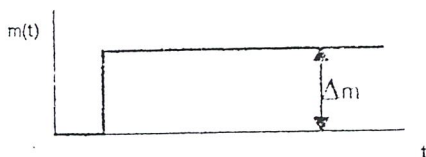
$$\Delta c(t) = K\Delta m u(t - t_0) [1 - e^{-(t-t_0)/\tau}] \dots\dots\dots (2.20)$$

พิจารณาที่เวลา $t < t_0$ จะได้ว่า $\Delta c(t) = 0$

จากกราฟของสมการ (2.20) ที่แสดงในรูปที่ 2.21 จะพบว่า

$$\Delta c(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} C(t) = K * \Delta m \dots\dots\dots(2.21)$$

โดยที่ $\Delta c_s =$ Steady-state change in $c(t)$



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการหาค่า Δc_s

จากสมการที่ (2.21) ทำให้สามารถคำนวณหาอัตราขยาย ณ.สถานะคงตัวของกระบวนการได้ดังนี้

$$K = \Delta c_s / \Delta m \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

ส่วนวิธีในการหาช่วงเวลาที่ (Dead time: t_0) และค่าคงที่ (Time constant: τ) เวลานั้นได้มีผู้เสนอความคิดต่างๆดังนี้

Dr. Cecil L.Smith (1972) ได้เสนอการหาค่าของ t_0 และ τ โดยการพิจารณาผลตอบสนองของกระบวนการ ณ. เวลาที่ทำให้ผลตอบสนองในรูปแบบจำลองและผลตอบสนองของกระบวนการจริงมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 นั่นคือ จะพิจารณาที่เวลา

$$t_1 = t_0 + \tau/3$$

$$t_2 = t_0 + \tau$$

นำค่าเวลานี้แทนลงในสมการที่ (2.20) จะได้ว่า

$$\Delta c(t_0 + \tau/3) = K\Delta m(1 - e^{-1/3}) = 0.283K\Delta m = 0.283\Delta c_s,$$

$$\Delta c(t_0 + \tau) = K\Delta m(1 - e^{-1}) = 0.632K\Delta m = 0.632\Delta c_s,$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า

t_1 คือ เวลาที่ทำให้ $\Delta c = 0.283 * \Delta c_s$

t_2 คือ เวลาที่ทำให้ $\Delta c = 0.632 * \Delta c_s$

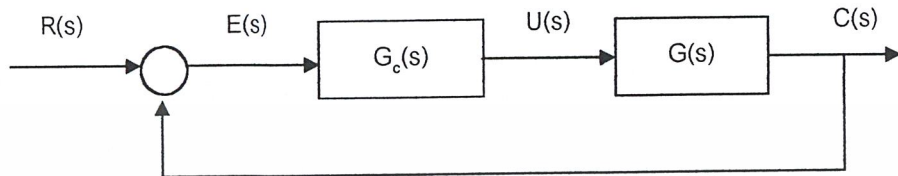
จะได้ว่า $\tau = (3/2) * (t_2 - t_1)$

$$t_0 = t_2 - \tau$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ (Synthesis of Feedback Controller)

ในส่วนนี้จะแสดงถึงวิธีการหาตัวควบคุมชนิดต่างๆซึ่งเกิดจากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงควบคุมป้อนกลับ (Feedback Loop) โดยไม่พิจารณาสัญญาณรบกวน ดังในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 บล็อกไคอะแกรมของการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

หาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของรูปที่ 2.22 จะได้ว่า

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad \dots\dots(2.23)$$

$$G_c(s) = \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{C(s)/R(s)}{1 - C(s)/R(s)} \right) \quad \dots\dots(2.24)$$

ซึ่งเรียกสมการที่ (2.24) นี้ว่า "รูปแบบการสังเคราะห์ตัวควบคุม (Controller Synthesis Function)"

จากสมการข้างต้น ถ้าสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากัน (Perfect control)

$C(s) = R(s)$ แล้วจะได้ว่า $[C(s)/R(s)] = 1$ ซึ่งจะได้รูปแบบของตัวควบคุมเป็น

$$G_c(s) = \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{1}{1/(1-1)} \right) = \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{1}{0} \right)$$

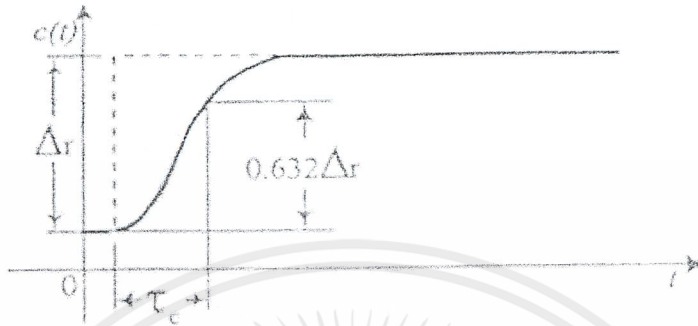
จะพบว่า $G_c(s)$ มีอัตราขยายเป็นอนันต์ (Infinite) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือสำหรับระบบที่เป็น Perfect control นั้น ไม่สามารถใช้กับระบบควบคุมป้อนกลับได้

ผลตอบสนองระบบแบบป้อนกลับที่ง่ายที่สุดคือ ผลตอบสนองแบบอันดับหนึ่งซึ่งมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad \dots\dots(2.25)$$

โดยที่ τ_c = ค่าคงที่เวลาของระบบ (Time Constant)

τ_c เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ซึ่งยิ่งมีค่าน้อยจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วขึ้น ดังแสดงดังรูป 2.22



รูป 2.23 ผลตอบสนองของระบบแบบป้อนกลับในรูปแบบอันดับหนึ่ง

แทนสมการ (2.25) ในสมการ (2.24) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{1/\tau_c s + 1}{1 - 1/\tau_c s + 1} \right) \\
 &= \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{1}{\tau_c s + 1 - 1} \right) \\
 \therefore G_c(s) &= \left(\frac{1}{G(s)} \right) \left(\frac{1}{\tau_c s} \right) \dots\dots\dots(2.26)
 \end{aligned}$$

จากสมการจะพบว่า ตัวควบคุมมีการทำงานในแบบอินทิกรัลจึงให้ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (2.25) ไม่มีค่าออฟเซต (offset) ตามคุณสมบัติของการควบคุมแบบอินทิกรัล แต่ในระบบอันดับสองและอันดับที่สูงกว่านี้ ถ้าระบบประกอบด้วยค่าหน่วงเวลา (Dead Time) ผลที่ได้ของระบบป้อนกลับก็จะมีพจน์ของการหน่วงเวลาปรากฏอยู่ด้วย

2.4.2.1 โหมดของตัวควบคุมและตัวแปรที่ใช้ในการปรับตัว (Controller Modes and Tuning Parameters)

พิจารณาระบบอันดับต่างๆดังนี้

- ระบบอันดับหนึ่ง (First-order Process)

จาก
$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนที่ในสมการ (2.26) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= \left[\frac{1}{K/\tau s + 1} \right] \left(\frac{1}{\tau_c s} \right) \\
 &= \left(\frac{\tau s + 1}{K} \right) \left(\frac{1}{\tau_c s} \right) \\
 &= \left(\frac{\tau s}{K\tau_c s} \right) + \left(\frac{1}{K\tau_c s} \right) \\
 &= \left(\frac{\tau}{K\tau_c} \right) \left(\frac{\tau}{\tau K\tau_c s} \right) \\
 \therefore G_c(s) &= \left(\frac{\tau}{K\tau_c} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right)
 \end{aligned}$$

โดยที่ τ = ค่าคงที่เวลาของกระบวนการ (Process Time Constant)

ซึ่งสมการที่ได้นี้ จะพบว่าเป็นลักษณะของการควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล (Proportional-Integral Controller: PI) ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ปรับแต่งได้ (Tuning Parameter) คือ

$$K_c = \left(\frac{\tau}{K\tau_c} \right) \quad \tau_I = \tau \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

□ ระบบอันดับสอง (Second-order Process)

จาก
$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

แทนค่าลงในสมการ (2.41) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= \left[\frac{1}{K/(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \right] \left[\frac{1}{\tau_c s} \right] \\
 &= \left[\frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{K} \right] \left[\frac{1}{\tau_c s} \right] \\
 \therefore G_c(s) &= \left[\frac{\tau_1}{K\tau_c} \right] \left[1 + \frac{1}{\tau_1 s} \right] [\tau_2 s + 1] \quad \dots\dots\dots(2.28)
 \end{aligned}$$

โดยที่ τ_1 = ค่าคงที่เวลาเด่น (The longer or dominant process time constant)

τ_2 = ค่าคงที่เวลาที่สั้นกว่า (The shorter process time constant)

เปรียบเทียบสมการ (2.28) กับสมการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของควบคุมแบบพีไอดี จะพบว่า

$$G_c(s) = K'_c \left[1 + \frac{1}{\tau'_1 s} \right] \left[\frac{\tau'_D s + 1}{\alpha \tau'_D s + 1} \right] \dots\dots\dots(2.29)$$

โดยจะมีพารามิเตอร์ที่สามารถที่สามารปรับแต่งได้

$$K'_c = \left(\frac{\tau_1}{K\tau_c} \right) \quad \tau'_1 = \tau_1 \quad \tau'_D = \tau_2$$

นั่นคือ ในการปรับแต่งนั้น เราต้องปรับให้ค่าเวลาของอินทิกรัล (Integral Time) มีค่าเท่ากับค่าคงที่เวลาเด่น ($\tau'_1 = \tau_1$) และค่าเวลาเดิรวิทที่มีค่าคงที่สั้นกว่า ($\tau'_D = \tau_2$) เพื่อเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายของกระบวนการ (Process Gain)

สำหรับระบบที่มีอันดับสูงกว่านี้ ในการปรับแต่งและการหาคุณสมบัติจะค่อนข้างยาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราจะประมาณให้ระบบอันดับสูงเป็นระบบอันดับต่ำที่มีการหน่วงเวลาแทน (Dead Time)

□ ระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-Order Plus Dead-Time Process)

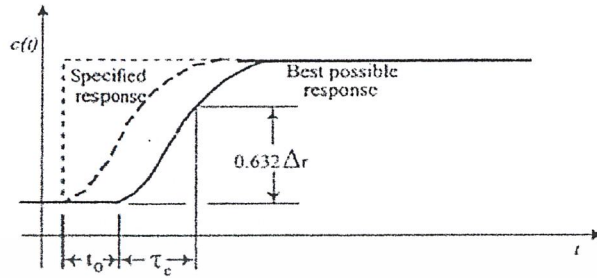
จากสมการ $G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1}$

แทนในสมการที่ (2.26) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{Ke^{-t_0s}} \right) \left(\frac{1}{\tau_c s} \right) = \left(\frac{\tau}{K\tau_c} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) e^{t_0s} \dots\dots\dots(2.30)$$

โดยที่ t_0 = เวลาหน่วงของกระบวนการ (Process Dead Time)

จากสมการที่ (2.30) จะพบว่าเป็นตัวควบคุมที่ไม่อาจเป็นจริงได้ เนื่องจากพจน์ t_0 ซึ่งเป็น Process Dead Time นั้นมีค่าเป็นลบซึ่งจะส่งผลให้สมการนี้ไม่อาจเป็นจริงได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการพิจารณาแทน พิจารณารูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ผลการตอบสนองของระบบที่มีการหน่วงเวลา

จากรูปที่ 2.24 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ให้ แทนค่าของ G จะได้ว่า

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \quad (s) \text{ และ } C(s)/R(s) \text{ ลงในสมการ (2.24)}$$

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \left(\frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \right) \left[\frac{\left(\frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \right)}{1 - \left(\frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \right)} \right] \\ &= \left(\frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \right) \left[\frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \right] \\ \therefore G_c(s) &= \left(\frac{\tau s + 1}{K} \right) \left[\frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

จากสมการ (2.31) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีโอได้ โดยแปลงพจน์ของเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Term) โดยใช้กฎของ Pade' (The First-order Pade' Approximation) ดังนี้

$$e^{-t_0 s} = \left(\frac{1 - t_0 s / 2}{1 + t_0 s / 2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

แทนสมการ (2.32) ลงในสมการ (2.31) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{K} \right) \frac{1}{\tau_c s + 1 - \left(\frac{1 - t_0 s/2}{1 + t_0 s/2} \right)}$$

$$\text{ให้ } \tau' = \frac{\tau_c t_0}{2(\tau_c + t_0)} = \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) \left(\frac{1 + t_0 s/2}{1 + t_0 \tau_c s / 2(\tau_c + t_0)} \right)$$

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) \left(\frac{1 + t_0 s/2}{1 + \tau' s} \right) \dots\dots\dots (2.33)$$

เปรียบเทียบกับสมการของตัวควบคุมชนิดพีไอดี ดังสมการ (2.30) จะได้ว่า

$$K_c' = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad \tau_1' = \tau \quad \tau_D' = t_0 / 2 \dots\dots\dots (2.34)$$

พิจารณาที่การหน่วงเวลาน้อย (Small Dead Time: $t_0 \ll \tau_c$) จะได้ว่า

$$\tau' = t_0 / 2$$

แทนค่าในสมการที่ (2.33) จะได้ผลออกมาในรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอ ดังนี้

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

ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ ระบบมีค่า Dead Time น้อย แต่สำหรับระบบที่เป็น Long Dead Time ($\tau_c \rightarrow 0$) ค่าของ τ' จะกลายเป็น

$$\tau' = (\tau_c / 2) \rightarrow 0$$

แทนในสมการที่ (2.33) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) \left(1 + \frac{t_0 s}{2} \right)$$

นั่นคือ สามารถสรุปได้ว่าถ้ามีการหน่วงเวลานานแล้วจะทำให้ตัวควบคุมอยู่ในรูปของตัว

ควบคุมชนิดพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาค่าความสัมพันธ์ต่างๆ ในสมการ (2.34) จะพบว่าค่าการหน่วงเวลา (Dead Time) นี้สามารถใช้ในการกำหนดขอบเขตของอัตราขยายของตัวควบคุมได้ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} K_{c,MAX} &= \lim_{\tau_c \rightarrow 0} [\tau / (K^*(\tau_c + t_0))] \\ &= \tau / (K^* t_0) \end{aligned}$$

จะพบว่า การเพิ่มค่าอัตราขยายอาจจะส่งผลให้เกิด โอเวอร์ชูท (Overshoot) และความไม่เสถียรได้ (Unstability) ได้

2.4.2.2 ผลสรุปจากการสังเคราะห์ตัวควบคุม

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการสรุปรูปแบบใหม่ของตัวควบคุม และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแต่ง ซึ่งเกิดจากวิธีการสังเคราะห์ตัวควบคุมของคาล์ดิน (Dahlin's Response)

ตารางที่ 2.3 สูตรการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของคาล์ดิน

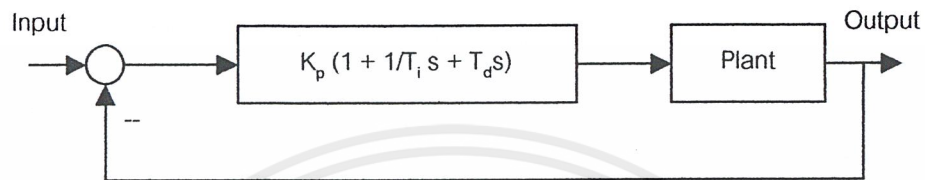
Process	Controller	Tuning Parameter
$G(s) = K$	P	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PI	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}$
$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ $\tau_1 > \tau_2$	PID	$K_c = \frac{\tau_1}{K\tau_c}$ $T_i = \tau_1$ $T_d = \tau_2$
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PID ^a	$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_0 + \tau_c)}$ $T_i = \tau$ $T_d = \frac{t_0}{2}$

^aใช้กับตัวควบคุมพีไอและพีไอ ($T_d = 0$) โดยที่ตัวควบคุมพีไอจะใช้เมื่อกระบวนการมีค่า t_0 มากกว่า $\tau/4$

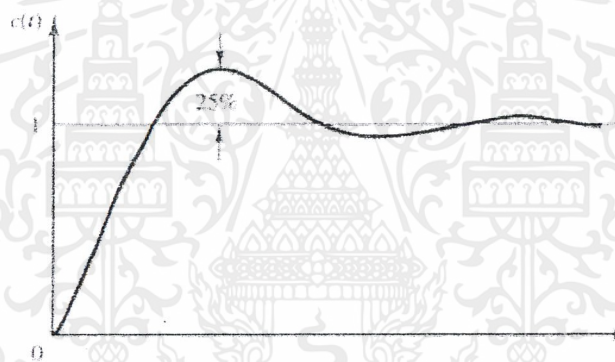
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

ในปัจจุบันวิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุมซึ่งมีอยู่ 2 วิธี แต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ผลตอบสนองของอินพุตต่อสัญญาณขั้นบันไดมีค่าพุ่งเกินสูงไม่เกิน 25%



รูป 2.25 แสดง โครงสร้างของระบบควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 2.26 ผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อปรับพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols

2.4.3.1 การคำนวณด้วยวิธี Process Reaction Curve

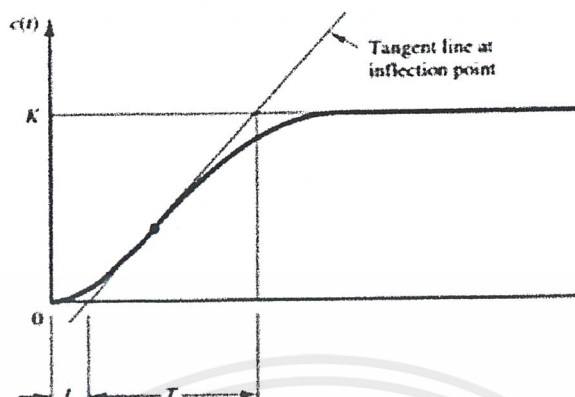
วิธีการนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีจากผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อมีการป้อนอินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันได โดยที่ระบบไม่ได้มีส่วนร่วมกับตัวควบคุมและมีผลตอบสนองในลักษณะตัว S ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการนี้กับกระบวนการที่ไม่มีผลตอบสนองในลักษณะรูปตัว S ได้

วิธีการนี้จะแยกพิจารณาค่าคงที่ 2 ค่าคือค่าหน่วงเวลา (Delay time) และค่าเวลาคงที่ (Time Constant) โดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเบนเบี่ยงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาต์พุต $c(t)$ ที่ $c(t)=K$

ดังนั้นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา คือ

$$\frac{C(s)}{M(s)} = \frac{Ke^{-\tau s}}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การคำนวณด้วยวิธี Process Reaction Curve

ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากการคำนวณด้วยวิธี Process Reaction Curve

ชนิดของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	τ/t_0	-	-
PI	$0.9*\tau/t_0$	$t_0/0.3$	-
PID	$1.2*\tau/t_0$	$2t_0$	$0.5 t_0$

ข้อดีของการใช้ Process Reaction Curve

1. ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวเท่านั้น
2. ไม่จำเป็นต้องใช้การลองผิดลองถูก
3. การคำนวณค่าพารามิเตอร์สามารถทำได้ง่าย

แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียด้วยกันหลายข้อ

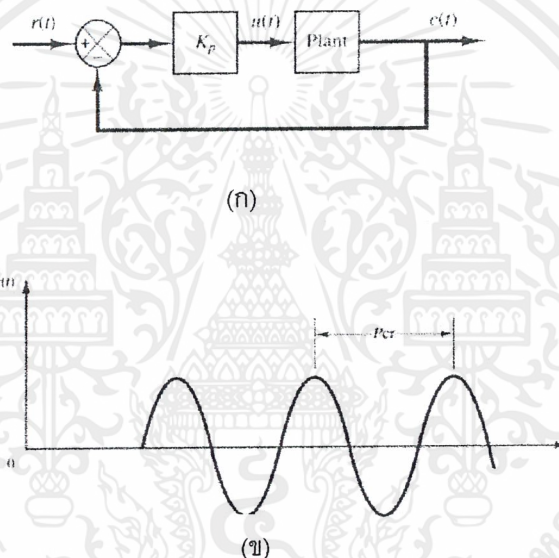
1. การทดสอบจะกระทำภายใต้สภาวะวงเปิด ดังนั้นหากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการทดสอบ ผลการทดสอบที่ได้จะเกิดการผิดพลาด
2. ในการทดสอบหากเครื่องมือวัดมีสัญญาณรบกวนหรือกราฟที่ได้จากการทดสอบมีขนาดเล็กดังนั้นการหาค่าความชันที่ถูกต้องทำได้ยาก
3. วิธีการนี้มีแนวโน้มที่ไวต่อความผิดพลาดจากการสอบเทียบของตัวควบคุม
4. การใช้ค่าพารามิเตอร์ในตารางมีแนวโน้มที่จะทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิธีการนี้ไม่เหมาะกับกระบวนการที่มีการตอบสนองแบบแกว่งในระบบวงเปิด เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดสอบจะเกิดความผิดพลาด

2.4.3.2 การคำนวณด้วยวิธี Ultimate Method

วิธีการนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี จากผลตอบสนองของกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอดี โดยทำการปรับค่า K_p จนกระทั่งผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถทำได้ถ้ากระบวนการไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.28 แสดงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธี Ultimate Method

ตารางที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากการคำนวณด้วยวิธี Ultimate Method

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K_{cr} คืออัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Critical Gain)

P_{cr} คือคาบเวลาของการการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Oscillation Period)

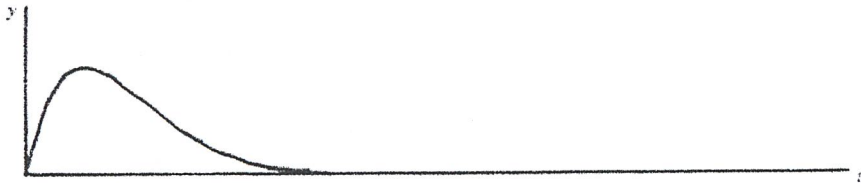
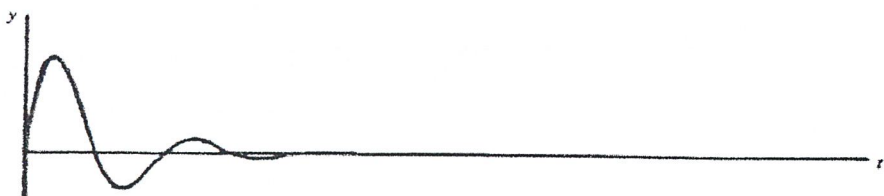
วิธีการนี้ไม่นิยมมากนัก เนื่องจากระบบต้องทำงานใกล้กับความไม่มีเสถียรและใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีความหน่วงมากๆ เช่นกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของ Ziegler-Nichols นั้น ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที เนื่องจากเป็นค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้นและผลตอบสนองมีค่าพุ่งเกินสูงสุด 25 % จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าละเอียดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อีกครั้งหนึ่ง

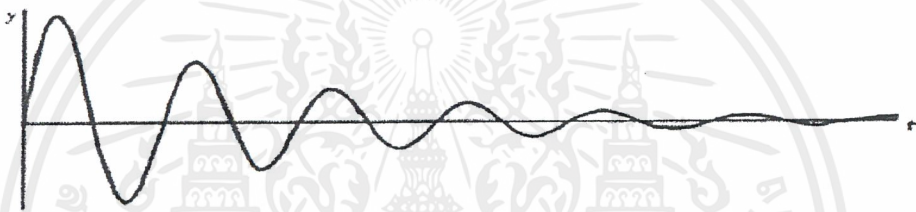
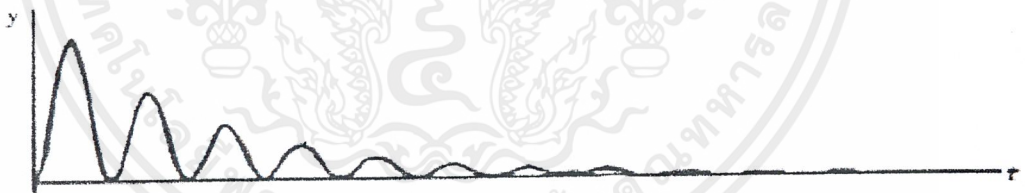
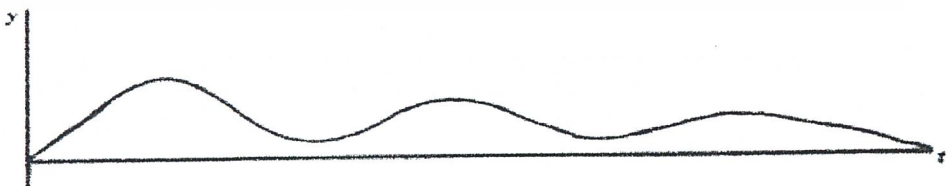
2.4.4 การปรับตัวควบคุมโดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error Tuning)

การปรับตัวควบคุมโดยใช้สูตรสำเร็จจากการทดลองต่างๆ บางครั้งไม่สามารถทำให้การควบคุมกระบวนการได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ในการทดลองหาสูตรสำหรับปรับตัวควบคุมมีคุณสมบัติบางอย่างต่างจากกระบวนการจริงที่ต้องการควบคุม ค่าตัวแปรควบคุมที่ได้จากการใช้สูตรสำเร็จเพียงสามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับค่าควบคุม โดยไม่ทำให้ระบบรวมสูญเสียเสถียรภาพ และทดลองปรับตัวควบคุมโดยสังเกตผลการควบคุมจากการพิจารณาค่าวัดของตัวแปรกระบวนการ ตามขั้นตอนดังนี้

1. ปรับตัวควบคุมให้ระบบรวมอยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรกระบวนการและสัญญาณควบคุม
2. เปลี่ยนค่าเป้าหมายควบคุมและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการจากค่าวัด
3. ปรับอัตราการควบคุมแบบพี (K_p) ของตัวควบคุมจนได้ผลตอบสนองของกระบวนการได้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด
4. ปรับช่วงเวลาการเริ่มต้นอินทิเกรต (T_i) ของตัวควบคุมจนได้ผลตอบสนองของกระบวนการได้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด
5. ปรับค่าคงที่ของเวลาอนุพันธ์ (T_d) ของตัวควบคุมจนได้ผลตอบสนองของกระบวนการได้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด

(ก) การปรับค่า K_p ที่เหมาะสม(ข) การปรับค่า K_p มากเกินไป(ค) การปรับค่า K_p น้อยเกินไปรูปที่ 2.29 ผลการปรับค่า K ของตัวควบคุมแบบพี(ก) การปรับค่า T_i ที่เหมาะสม(ข) การปรับค่า T_i มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) การปรับค่า T_d น้อยเกินไปรูปที่ 2.30 ผลการปรับค่า T_d ของตัวควบคุมแบบพีไอ(ข) การปรับค่า T_d ที่เหมาะสม(จ) การปรับค่า T_d มากเกินไป(ค) การปรับค่า T_d น้อยเกินไปรูปที่ 2.31 ผลการปรับค่า T_d ของตัวควบคุมแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

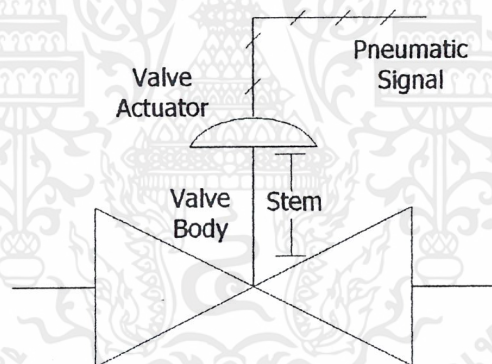
บทที่ 3

กระบวนการควบคุมระดับของเหลว

3.1 กระบวนการ (Process)

3.1.1 วาล์วควบคุม

เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุม และกระบวนการ สำหรับสัญญาณที่ใช้ในการสั่งให้ วาล์วควบคุมทำงานนั้น นิยมใช้สัญญาณลม (Pneumatic) เพราะมีความเที่ยงตรงสูงและไม่ต้องซ่อมบำรุงบ่อยๆ เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20mA จากตัวควบคุม, เครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม (I/P Transducer) จะแปลงสัญญาณไฟฟ้างดกล่าวไปเป็นสัญญาณความดันลมมาตรฐาน 3-15 psig ไปควบคุม Actuator ซึ่งประกอบด้วย Diaphragm และ Spring ซึ่งจะติดอยู่กับก้านชัก (Stem) ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของวาล์วควบคุม

โดยปกติ เมื่อตำแหน่งวาล์วอยู่ที่ศูนย์ นั่นคือ วาล์วจะปิดและไม่มีของไหลใดๆ ไหลผ่าน ในทางตรงข้าม ถ้าตำแหน่งวาล์วอยู่ที่หนึ่ง นั่นคือ วาล์วเปิดเต็มที่และมีของไหลไหลผ่านสูงสุด

ลักษณะการทำงานของวาล์วมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

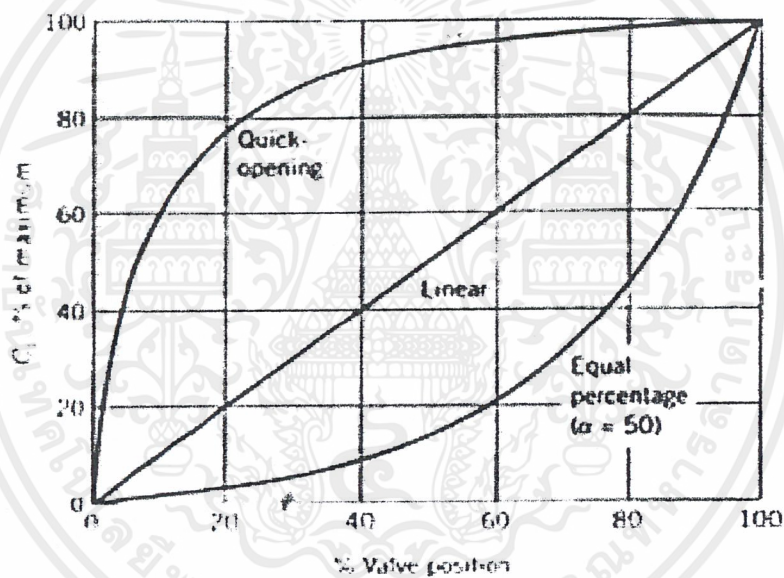
1. Air-to-Open Valve: วาล์วจะเปิดเมื่อมีสัญญาณลมเข้ามา เหมาะกับงานที่ต้องการเปิดให้ของไหลผ่านเมื่อเกิดข้อผิดพลาด (Fail) กรณี Fail-Closed คือ วาล์วจะปิดเมื่อเกิด Fail
2. Air-to-Close Valve: วาล์วจะปิดเมื่อมีสัญญาณลมเข้ามา เหมาะกับงานที่ต้องการปิดไม่ให้ของไหลผ่านเมื่อเกิดข้อผิดพลาด (Fail) กรณี Fail-Opened คือ วาล์วจะเปิดเมื่อเกิด Fail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการไหลของของไหลจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์ว ดังรูปที่ 3.2 มี 3 แบบด้วยกันคือ

1. Quick-Opening characteristic
2. Linear characteristic
3. Equal Percentage characteristic

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าเมื่อมีการเคลื่อนที่เร็วของวาล์ว การควบคุมการไหลจะทำให้ยากหากต้องการเคลื่อนวาล์วในระยะสั้นๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการเคลื่อนที่แบบนี้ แต่จะเหมาะกับ Relief Valve ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงานที่ความดันสูงๆ (จะคล้ายกับการทำงานของ On-Off Control)



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Valve Position และ ค่า C_v

ในข้อ 2 และข้อ 3 นั้นจะนิยมใช้ในงานควบคุมโดยสมการลักษณะการไหลของ Linear characteristic

$$C_v = C_{v,max} vp$$

นั่นคือ ถ้าตำแหน่งของวาล์วอยู่ที่ 50%, ของไหลจะไหลที่ 50% ของอัตราการไหลสูงสุด และสำหรับ Equal Percentage characteristic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_v = C_{v,max} \beta^{vp-1}$$

เมื่อ β : Rangeability Parameter

V_p : Valve Position

C_v : Coefficient of Valve

โดย β จะมีค่าที่ 25, 50 หรือ 100 และจะนิยมใช้ที่ 50 ลักษณะของ Equal Percentage นั้นจะไม่เป็นไปตามสมการข้างต้นทุกกรณีเพราะ Exponential Term ในสมการ ไม่สามารถเป็นศูนย์ได้ซึ่งเป็นตำแหน่งของวาล์วที่ศูนย์ จึงทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนเล็กน้อย

ในการหาค่าอัตราไหลสามารถหาได้จาก

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta p_v}{G_f}}$$

เมื่อ Q : อัตราการไหล, gpm

Δp_v : ความดันตกคร่อมวาล์ว

G_f : ค่าความถ่วงจำเพาะของของไหลขณะมีการไหล

ในการเลือกใช้วาล์ว ต้องเลือกให้เหมาะสมกับงาน ความจำเป็น และลักษณะเฉพาะตัวของกระบวนการ โดยเราจะใช้การปรับแบบ Linear characteristic เมื่อกระบวนการนั้นเป็นเชิงเส้นและความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหล และเลือกใช้การปรับแบบ Equal Percentage characteristic เมื่อความดันตกคร่อมวาล์วเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราไหลโดยอัตราขยายของกระบวนการลดลงเมื่ออัตราไหลเพิ่มขึ้นซึ่งในความเป็นจริงจะใช้การปรับลักษณะนี้

3.1.2 Level Transducer by Measuring Capacitance

ถ้าเราใส่ขั้วตัวนำ (Electrode) ติดตั้งลงไปในแนวตั้งของภาชนะ เมื่อป้อนไฟฟ้าไปที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเกิดเป็นประจุไฟฟ้า (Capacitor) โดยขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเป็นแผ่น Plate สองแผ่นที่มีตัวเก็บประจุคือสารที่ถูกรบรรจุอยู่ในภาชนะนั้น ค่าประจุระหว่าง Plate ทั้งสองจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสมการ

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ C : ค่าความจุไฟฟ้า, Farad
 A : พื้นที่ตั้งฉากของ Plate ทั้งสองกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้า, Meter²
 d : ระยะห่างระหว่าง Plate ทั้งสอง, Meter
 ϵ : ค่า Dielectric Constant ของตัวกลาง

สารเคมีทุกชนิดมีค่า Dielectric Constant ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้นๆ ค่า ϵ ของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ก๊าซส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 1 น้ำบริสุทธิ์มีค่า 80 เนื่องจากค่า A และ d เป็นค่าคงที่ ดังนั้น ประจุจึงแปรตามระดับของสารตัวกลางที่เข้าไปแทนที่อากาศ และเนื่องจาก ϵ มีค่าสูงกว่าอากาศ หลักการวัดด้วยการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าจึงเหมาะกับสารตัวกลางที่มีค่า ϵ สูงกว่า ϵ ของอากาศมากๆ โดยธรรมชาติ ค่า ϵ ของสารจะเปลี่ยนไปบ้างตามอุณหภูมิและความหนาแน่น ถ้าสารตัวกลางเป็นผง เช่น ซีเมนต์ เมล็ดพืช ค่า ϵ จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น แต่ถ้าสารตัวกลางเป็นของเหลว ค่า ϵ จะขึ้นกับอุณหภูมิโดยถ้าอุณหภูมิสูง, ϵ จะมีค่าต่ำ

ในการวัดค่าระดับของสารใดๆ การเลือกใช้ Probe ควรพิจารณาถึงข้อมูลทางเทคนิคเพื่อให้สามารถวัดและอ่านค่าได้อย่างถูกต้องดังนี้

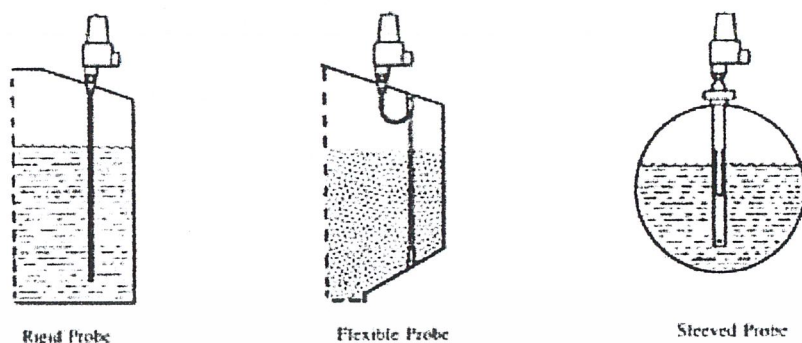
- ขนาดความยาวของ Probe และส่วนที่ต้องใช้วัดระดับ
- ค่าความจุขณะภาชนะยังไม่ได้บรรจุสาร
- ค่า Dielectric Constant ของสาร

Probe ของเครื่องวัดระดับแบบประจุนี้ มี 3 แบบด้วยกันคือ

1. Probe ตรงท่อนเดี่ยว (Rigid) โดยปกติจะเคลือบด้วยเทฟลอน เหมาะสำหรับใช้วัดระดับของเหลว เมล็ดพืชหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร สารที่ต้องการวัดอาจเป็นแบบที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงหรือต่ำก็ได้ Probe แบบเปลี่ยนที่ไม่มีฉนวนหุ้มเหมาะสำหรับใช้กับสารที่มีความนำไฟฟ้าและค่า Dielectric Constant ต่ำ Probe แบบนี้มีข้อเสียคือ ยุ่งยากขณะขนส่งเพราะมีขนาดยาว

2. Probe แบบอ่อน (Flexible) เหมาะสำหรับช่วงการวัดระดับสูงกว่า 12 ฟุตขึ้นไป สามารถม้วนได้ ทำให้ง่ายในการขนส่งและติดตั้ง เหมาะกับการใช้วัดระดับในถังไซโลหรือ Hoppers

3. Probe แบบมีสลิฟ (Sleeve) เหมือนกับแบบ Rigid แต่มี Sleeve โลหะหุ้มอยู่รอบ Probe เพื่อให้การเปลี่ยนค่าของประจุเป็นไปแบบเชิงเส้น ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของถัง Probe ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับของเหลวเท่านั้น



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของ Probe แบบต่างๆ

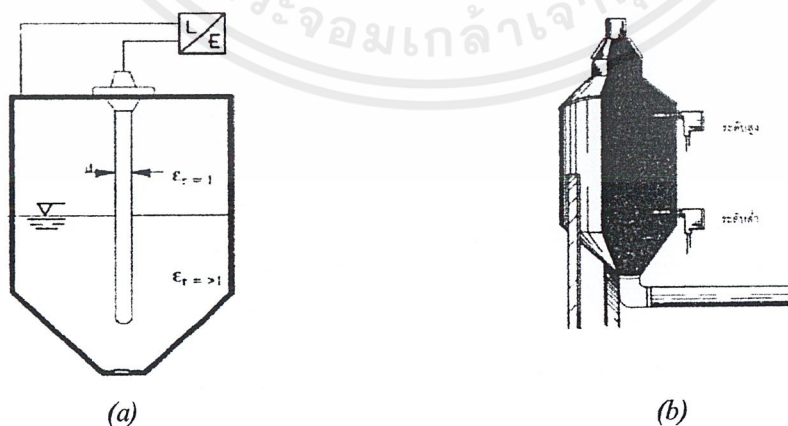
การวัดค่าประจุไฟฟ้าสามารถทำได้ 2 แบบด้วยกันคือ

1. การวัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Capacitance Level Measuring)

การวัดระดับของของเหลวในถังสูง ผงหรือเม็ดพืชด้วยวิธีการวัดประจุไฟฟ้า เป็นวิธีการที่เหมาะสมมากวิธีหนึ่ง แท่งตัวนำ (Probe) ที่ใช้จะต้องยาวพอและผิวนอกต้องหุ้มด้วยฉนวน ติดตั้งลึกลงไปในถังตามรูป ซึ่งค่าประจุที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปตามระดับความสูงของสารที่บรรจุอยู่จนถึง

2. การวัดเป็นจุด (Point Measuring)

เหมาะสำหรับวัดระดับของสารที่เป็นผง ไม่เหมาะสำหรับวัดระดับของของเหลวเพราะจะเกิดการรั่วได้ง่าย การติดตั้ง Proben ี่ถึงจะติดตั้งในแนวนอนเป็นช่วงๆ ตามระดับความสูงดังรูป สามารถบอกระดับความสูงได้เป็นช่วงๆ Probe ที่ใช้จะเป็นแบบสั้นฉาบด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการลัดวงจร เมื่อสารที่ต้องการวัดสูงจนท่วม Probe, ค่าประจุก็จะเปลี่ยนไป วงจรที่วัดค่าอยู่จะทำงานในรูปแบบของ On-Off Switch เพื่อบอกระดับเป็นจุด



รูปที่ 3.4 แสดง (a) วิธีการวัดแบบต่อเนื่อง (b) วิธีการวัดแบบเป็นจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องระมัดระวังและคำนึงถึง

1. ค่า Dielectric Constant จะเปลี่ยนไปประมาณ 0.1% เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปทุกๆ 1°C ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของระบบในภาวะใช้งานปกติว่าอยู่ในย่านใด
2. เมื่อสภาพทางเคมี เช่น ค่าความชื้น จะมีผลต่อการวัดด้วยเนื่องจากค่า Dielectric Constant จะเปลี่ยนแปลงด้วย
3. ในสารที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด (Solids) ขนาดของเม็ด (Particles) จะมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่า Dielectric Constant
4. ค่าประจุแตกต่างระหว่างดั่งเปล่าและตอนสารเต็มถึงจะต้องมีค่ามากกว่า 10 pF
5. Probe ที่ใช้จะต้องหุ้มฉนวนให้ดีเพื่อป้องกันการลัดวงจร

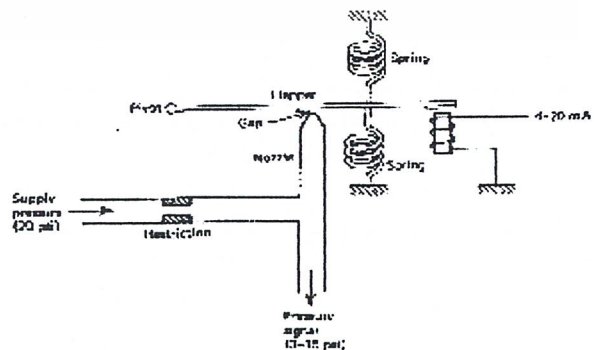
3.1.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม (Current-to- Pressure Transducer)

ในการควบคุมกระบวนการ I/P Transducer นับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญเพราะเมื่อเราต้องการใช้สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่มีระดับต่ำๆ และมันจะง่ายกว่าถ้าในการทำงานใช้เป็นสัญญาณลม (Pneumatic Signal)

หลักการการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม ใช้หลักของ Current-to-Pressure Converter ซึ่งจะมีการแปลงค่าเป็นแบบเชิงเส้นจากกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ไปเป็นสัญญาณ 3-15 psig เครื่องแปลงสัญญาณชนิดนี้มีหลายรูปแบบด้วยกัน แต่โดยพื้นฐานแล้วจะต้องประกอบไปด้วย Nozzle / Flapper System ดังรูป กระแสไฟฟ้าจะผ่านขดลวดและสร้างแรงที่จะขยับ Flapper ขึ้นลงเพื่อเปิดปิดช่องว่างตามลำดับ ถ้าค่ากระแสมากๆ จะสร้างแรงเหนี่ยวนำสูง ดังนั้น อุปกรณ์ชนิดนี้ กระทำโดยวิธีทางตรง ในการปรับสปริงและตำแหน่งจะสัมพันธ์กับ Pivot ที่ติดกับ Flapper ให้ปรับวัดขนาด 4 mA ให้เท่ากับ 3 psig และ 20 mA ให้เป็น 15 psig



รูปที่ 3.5 Current to Pressure Transducer

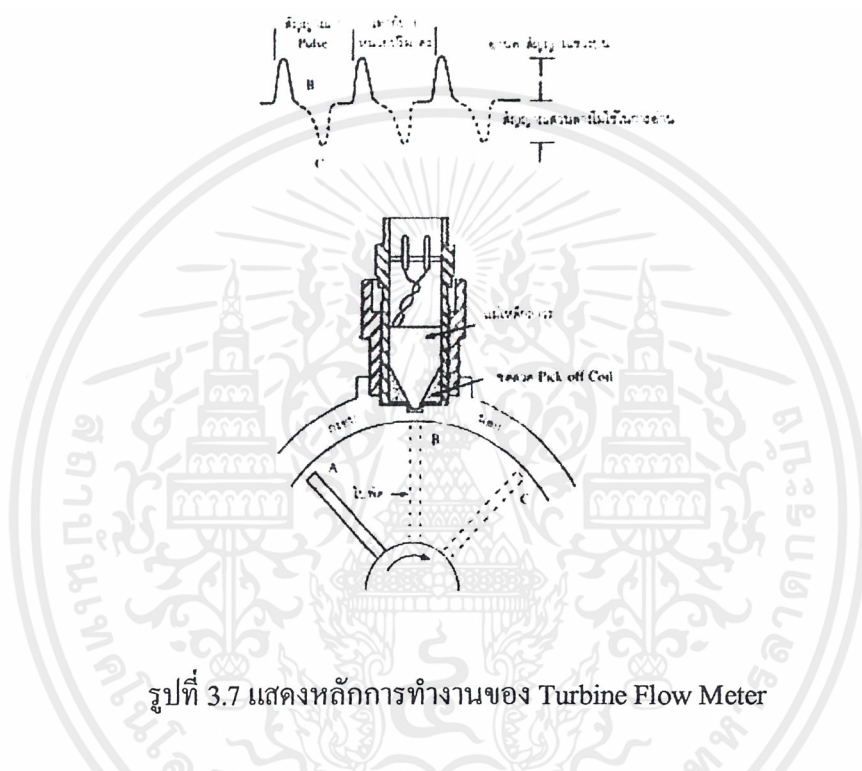


รูปที่ 3.6 Current – to – pressure converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Turbine Flow meter

โครงสร้างของตัว Turbine Flow Meter จะมีใบพัดทำมุมเฉียงกับทิศทางการไหล ขณะที่ของเหลวไหลผ่าน จะทำให้ใบพัดหมุนไปตามอัตราการไหล ที่ตัว Body ของมันจะมี Pick off Coil เป็นตัวรับรู้ (Sensor) ความเร็วรอบของ Turbine ดังรูป



รูปที่ 3.7 แสดงหลักการทำงานของ Turbine Flow Meter

จากรูปที่ 3.7 การนับจำนวนรอบที่ Turbine หมุนไปนั้น ใช้ Pick off Coil ที่พันอยู่บนแท่งแม่เหล็กถาวรตามจังหวะ A, B และ C จะเกิดสัญญาณ Pulse ขึ้น และจำนวนไซเคิลของ Pulse จะเป็นไปตามอัตราการไหล กล่าวคือ ถ้า Flow Rate สูง จำนวน Pulse ก็จะมีมากด้วย

ข้อควรระวังเพื่อการวัดผลที่ถูกต้อง

1. ถ้ามีท่อ Bypass ตัวเทอร์ไบน์มิเตอร์ Valve ของท่อ Bypass จะต้องปิดสนิทและไม่รั่ว เพราะอาจทำให้ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง
2. ไม่ควรติดตั้ง Turbine Flow Meter ในที่ที่สามารถเกิดการไหลย้อนกลับได้ จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดอย่างมาก
3. ไม่ควรใช้ Turbine Flow Meter กับของเหลวที่มีความหนืดสูง เพราะเป็นการเพิ่ม Friction ให้กับ Turbine ทำให้การวัดค่าคลาดเคลื่อน
4. ตรวจสอบสภาพ Turbine Flow Meter อย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

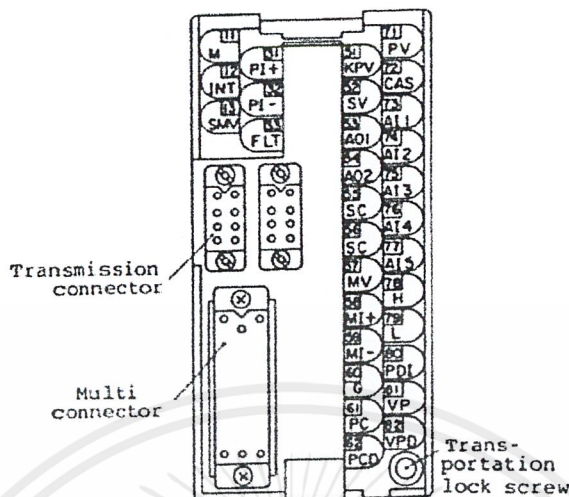
3.2 ตัวควบคุม (Controller)

- สภาวะ ณ จุดทำงาน
 1. ไฟเลี้ยง : DC 20V~30V
 2. กำลังไฟ : ประมาณ 11W
 3. ความเป็นฉนวน : DC 500V, 100M Ω หรือมากกว่า
 4. อุณหภูมิ : 0~45°C
 5. ความชื้น : ต่ำกว่า 90% RH
 6. น้ำหนัก : ประมาณ 5 kg
- ฟังก์ชันของเทอร์มินอลที่ใช้ในการควบคุม

สัญลักษณ์	ความหมาย	ข้อสังเกต
VP	ขาไฟเลี้ยง (+)	DC 20V~30V
PC	ขาไฟเลี้ยง (-)	DC 20V~30V
PV	ขารับสัญญาณป้อนกลับจากระบบการของบล็อกอันดับ 2 (Secondary Block) ของตัวควบคุม	DC1~5V
KPV	ค่า PV ที่ได้รับการชดเชยแล้ว	DC1~5V
CAS	ขาที่รับค่าตั้งต้นมาจากอุปกรณ์ภายนอกของบล็อกอันดับ 2 (Secondary Block) ของตัวควบคุม	DC1~5V
SV	ค่าตั้งต้นของตัวควบคุมของบล็อกอันดับ 2 (Secondary Block) ของตัวควบคุม	DC1~5V
SC	ขาสัญญาณคอมมอน	ทั้ง 2 ขั้วต่อถึงกัน
สัญลักษณ์	ความหมาย	ข้อสังเกต
MI+	เอาต์พุต (Current : +)	DC4~20 mA
MI-	เอาต์พุต (Current :-)	DC4~20 mA
MV	เอาต์พุต (Voltage)	DC1~5V
G	กราวด์	

ตาราง 3.1 แสดงขาสัญญาณที่ใช้งานของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการต่อเชื่อมเพื่อใช้งาน ตัวควบคุม

□ ชื่อและฟังก์ชันการทำงานของตัวควบคุม

1. ส่วนของสวิทช์

- 1.1 Run-Test Switch : เมื่อต้องการใช้งานตัวควบคุมจริง ให้ปรับสวิทช์ไปที่ RUN แล้วกด RESET เพื่อเริ่มการทำงาน แต่ถ้าต้องการทดสอบโปรแกรม ให้ปรับสวิทช์ไปที่ TEST แล้วกด RESET เพื่อเริ่มการทดสอบ
- 1.2 Continuous-Initial Switch : ใช้เพื่อเลือกลักษณะตอนเริ่มทำงานหลังการ Interrupt ว่า จะให้เริ่มทำงานที่ค่าเริ่มต้นใหม่ (Initial) หรือ ที่ค่าสุดท้ายก่อนการ Interrupt (Continuous)
- 1.3 Inhibit-Enable Switch : ใช้เพื่อเลือกว่าข้อมูลในหน่วยความจำในตัวควบคุมสามารถเขียนใหม่ได้หรือไม่
- 1.4 Inhibit-SCC Switch : ใช้เพื่อเลือกจะใช้โหมด Transmission หรือ ไม่
- 1.5 EXT-INT Switch : ใช้เพื่อเลือกว่าค่า Ratio Setting และค่า Cascade Primary SV จะถูกเซตจากภายในหรือภายนอก (ถ้าการทำงานโหมด Ratio และ Cascade ตามลำดับเท่านั้น)
- 1.6 KPV-PV Switch : ใช้เลือกว่าค่า สัญญาณจากตัวควบคุมว่าจะมีการชดเชย (KPV) หรือ ไม่ (PV)
- 1.7 RESET : ใช้เมื่อต้องการเริ่มต้นการทำงานใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

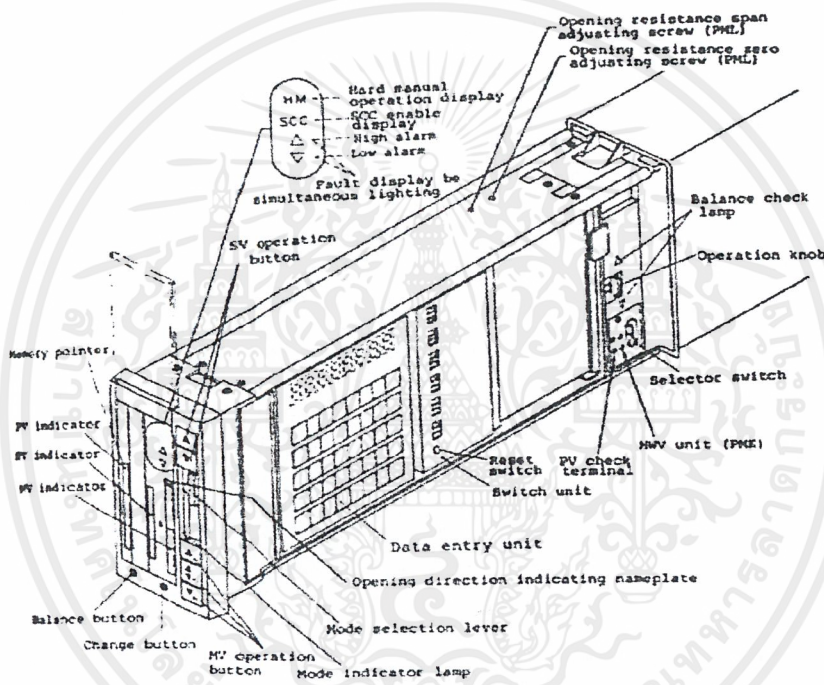
2. ตัวเลือกโหมดการทำงานของตัวควบคุม

ในการเลือกโหมดการทำงานของตัวควบคุมทำได้โดยการเลื่อนตัวชี้ระดับ (Lever) ไปที่ระดับต่างๆ มี 3 โหมดด้วยกันได้แก่

M – โหมดการควบคุมด้วยมือ

A – โหมดการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ปล็อกอันดับ 2 ของตัวควบคุม

R – โหมดการควบคุมอัตโนมัติแบบสัดส่วนหรือแบบต่อร่วมกัน โดยใช้ปล็อกอันดับ 1 หรือใช้การตั้งค่าจากภายนอก



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบสำคัญของ Controller

3. ปุ่มควบคุมค่าตั้งต้น (SV Operation Button)


กดเพื่อปรับระดับค่าตั้งต้นเมื่อเรากด ค้างไว้ ค่า SV จะเพิ่มขึ้น 40 Sec/FS เมื่อเรากดปุ่ม ค้างไว้ ค่า SV จะลดลง 40 Sec/FS แต่ถ้ากดสองปุ่มพร้อมกัน จะไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง

4. ปุ่มควบคุมค่าเอาท์พุท (MV Operation Button)


กดเพื่อปรับสัญญาณเอาท์พุท MV ใช้ได้ในโหมดปรับด้วยมือเท่านั้น เมื่อกด ค่า MV จะเพิ่มขึ้น 40 Sec/FS เมื่อกด ค่า MV จะลดลง 40 Sec/FS แต่ถ้าต้องการให้การเปลี่ยนแปลงนี้รวดเร็วขึ้น ให้กดปุ่ม ไปพร้อมกับปุ่มที่ได้กล่าวไปแล้ว จะทำให้การเปลี่ยนค่า MV เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปุ่มกดเปลี่ยน (Change Button)

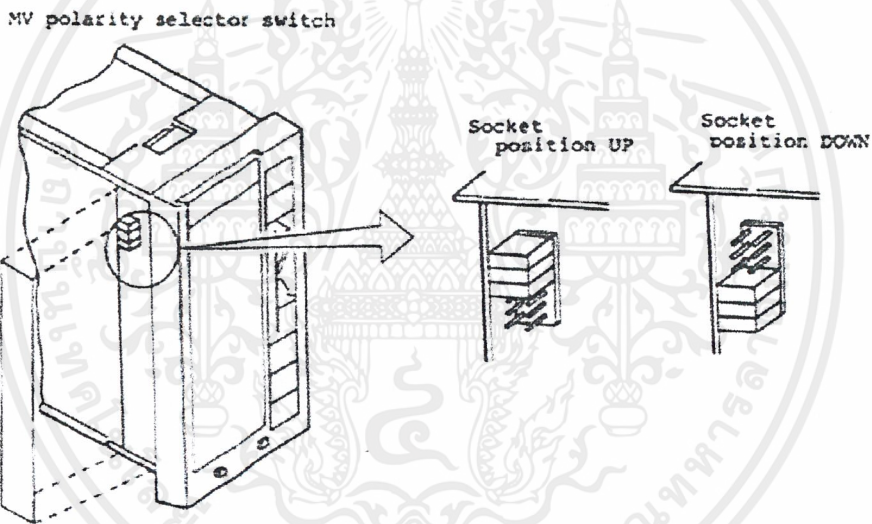
เมื่อกดปุ่ม  ค่า MV จะแสดงผลออกมาทางตัวแสดงผลของ SV (SV Indicator) เพื่อให้การอ่านค่า MV มีความแม่นยำมากขึ้น

6. ปุ่มบาลานซ์ (Balance Button)

เมื่อกดปุ่ม  ค่าสัญญาณอินพุตที่เข้า CAS จะแสดงบน ตัวแสดงผลของ SV ปุ่มนี้มีไว้ใช้สำหรับบาลานซ์ค่าตั้งต้นจากภายนอกที่เข้า CAS และ ค่าตั้งต้นภายใน

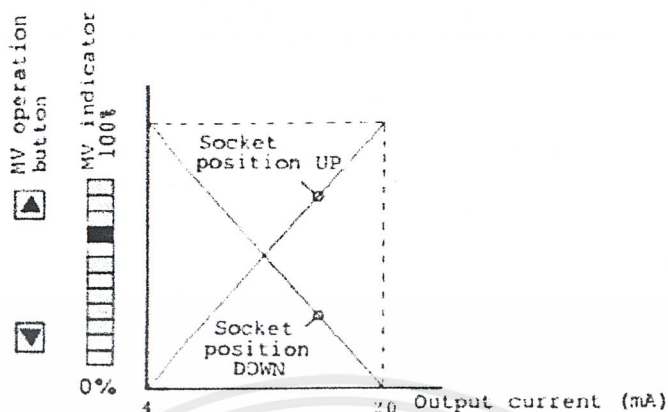
7. ตัวแสดงลักษณะค่า MV (MV Indication Polarity Setting)

สามารถเห็นตัวแสดงลักษณะค่า MV ได้เมื่อปลดฝาครอบทางซ้ายมือของตัวควบคุมออกดังรูป



รูปที่ 3.10 แสดง MV polarity selector switch

การทำงานของตัวควบคุมขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของซ็อกเก็ต (Socket) กล่าวคือ ถ้าซ็อกเก็ตอยู่ด้านบน ค่า MV จะแปรผันตรงกับกระแสอาทิตย์พท แต่ถ่าซ็อกเก็ตอยู่ด้านล่างค่า MV จะแปรผกผันดังรูป

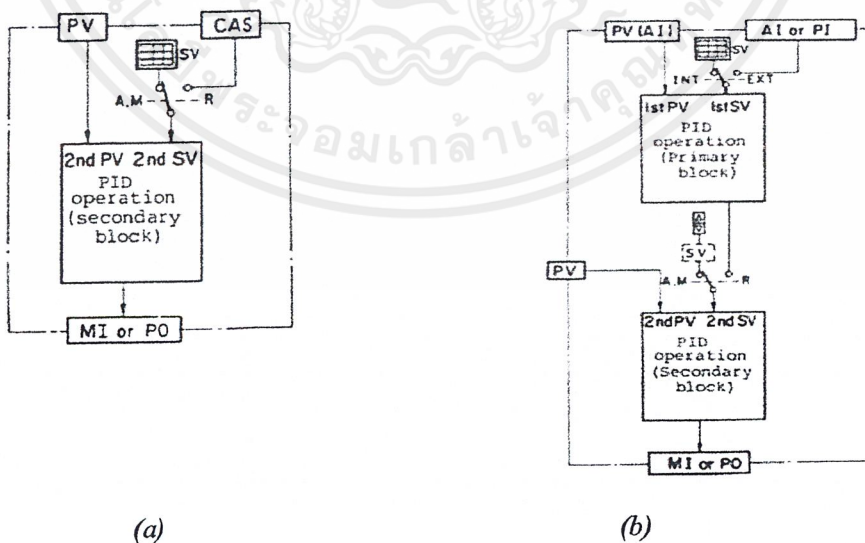


รูปที่ 3.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง MV และกระแสเอาต์พุต

3.2.1 Configuration as Controller

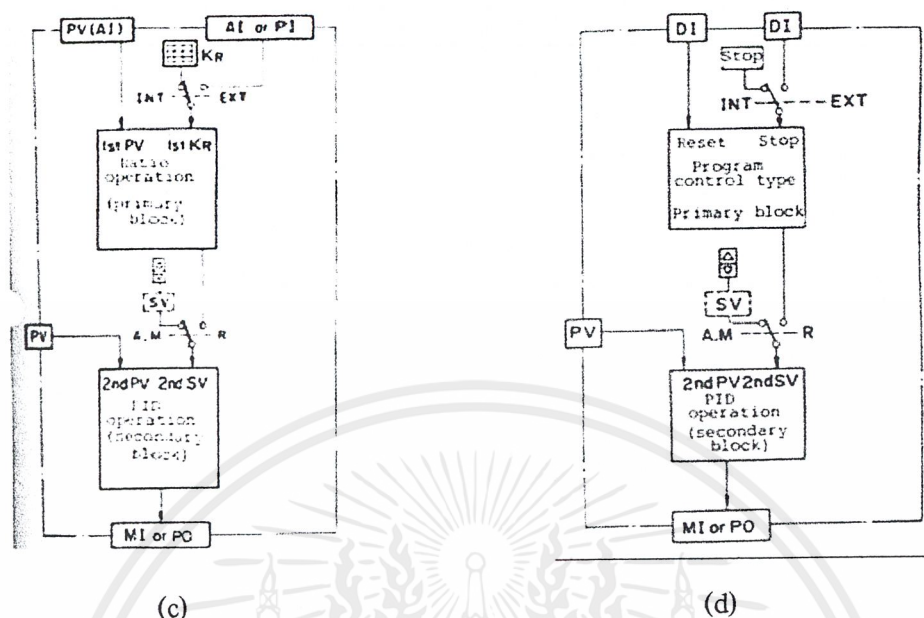
ตัวควบคุมที่ใช้รุ่นนี้ สามารถใช้งานได้ 4 โหมดการทำงาน คือ

1. แบบพื้นฐาน (Basic Control) : ใช้ตัวควบคุมพีไอดีเพียงตัวเดียวในการควบคุม
2. แบบต่อร่วม (Cascade Control) : ใช้ตัวควบคุมพีไอดี 2 ตัวต่อร่วมกัน
3. แบบสัดส่วน (Ratio Control) : ใช้ตัวควบคุมพีไอดีทำงานกับ Ratio Operation
4. แบบโปรแกรม (Program Control) : ใช้ตัวควบคุมพีไอดีทำงานกับ โปรแกรมที่ตั้งไว้



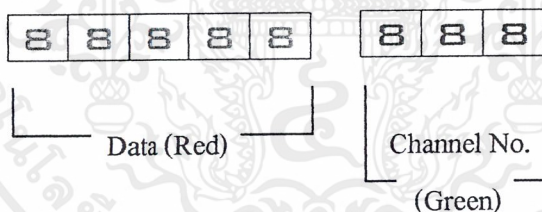
รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของ (a) Basic Control และ (b) Cascade Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของ (c) Ratio Control และ (d) Program Control

3.2.2 Data Display Section



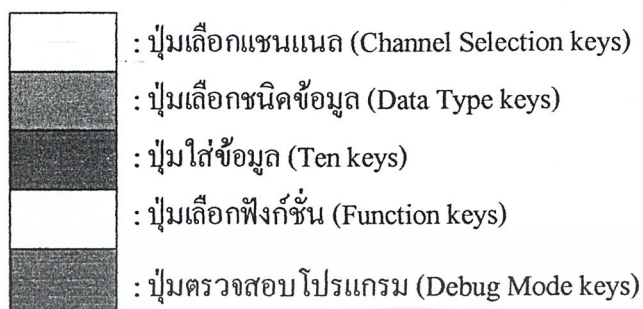
รูปที่ 3.14 แสดง 7-Segment Data Display Section

เมื่อติดตั้งด้านหน้าของ Controller ออก จะพบว่าด้านข้างของ Controller จะมีเป็นรับคำสั่ง (Data Entry Unit) อยู่ดังแสดงในรูปที่ 3.15

1st	IN	ALM	MOD	FLT	INC	DEC	CL
2nd	OUT	PV (E)	SV (F)	7	8	9	H
LN	DIM	MV (C)	DV (D)	4	5	6	L
CON	T	GAS (A)	TF (B)	1	2	3	AD
FIX	P/R	I/B1	D/B2	0			ST

Data setting keys (Pushbutton switches)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 เป็นรับคำสั่งของตัวควบคุม

ปุ่มเลือกแชนเนล (Channel Selection keys)

เป็นปุ่มที่ใช้เลือก Channel ของ Controller ซึ่งมีทั้งหมด 7 Channel ด้วยกัน ดังนี้

1. 1st : บล็อกที่ 1
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าข้อมูลที่เป็นของไพรมารีบล็อก ได้แก่ โหมคการทำงานแบบสัดส่วน, แบบต่อร่วมและแบบโปรแกรมได้
2. 2nd : บล็อกที่ 2
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าข้อมูลที่เป็นของบล็อกที่ 2 ได้แก่ โหมคการทำงานแบบพื้นฐาน
3. LN : ตั้งค่าสุดท้าย
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าสุดท้ายในแต่ละจุดของ Linearize Wafer
4. CON : ค่าคงที่
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าคงที่ที่จะใช้กับ Arithmetic Wafer ในแต่ละตัว
5. IN : อินพุท
กดเพื่อแสดงข้อมูลของอนาลอกอินพุทและดิจิตอลอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. **OUT** : เอาท์พุท
กด 1 ครั้งเพื่อแสดงค่าอนาล็อกอินพุทและดิจิทัลอินพุท แต่ถ้ากดอีกหนึ่งครั้ง จะเป็นการแสดงค่าเอาท์พุทที่ขั้วของ Wafer
7. **DIM** : ไคเมนชั่น
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าเรนจ์, หน่วยและ ตำแหน่งจุดทศนิยมบล็อทที่ 1 และ 2

ปุ่มเลือกชนิดข้อมูล (Data Type keys)

ปุ่มชนิดนี้ใช้เพื่อเลือกข้อมูลต่างๆ ของบล็อทที่ 1 และ 2 ในการใช้นั้น ให้กดปุ่มเลือก แชนแนลก่อนว่าจะใช้บล็อทที่ 1 และ 2

1. **ALM** : Alarm
กดเพื่อแสดงการเตือนว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดสูงหรือต่ำกว่าปกติหรือไม่โดยแสดงผลผ่าน LED 4 หลัก
2. **MOD** : โหมด
กดเพื่อแสดงโหมดการทำงานในขณะนั้น เช่น Transmission Mode, R.A.M. Mode, Hard Manual Mode และอื่นๆ โดยแสดงผลผ่าน LED 4 หลัก
3. **PV** : ค่าที่วัดได้จากกระบวนการ
กดเพื่อแสดงค่าที่วัดได้
4. **SV** : ค่าตั้งต้น
กดเพื่อแสดงผลและตั้งค่าเริ่มต้น
5. **MV** : ค่าเอาท์พุทจากตัวควบคุม
กดเพื่อแสดงค่าเอาท์พุทจากตัวควบคุม
6. **DV** : ค่าความต่าง
กดเพื่อแสดงค่าต่างของ SV และ PV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. **CAS** : ค่าตั้งต้นที่มาจากภายนอก
กดเพื่อแสดงค่าตั้งต้นที่มาจากภายนอก
8. **TF** : Input Filter Time Constant
กดเพื่อแสดงและตั้งค่าคงที่เวลาของ Input Filter (First-Order lag)
9. **P/R** : P (Proportional Band) / R (Ratio Coefficient)
กดเพื่อแสดงและตั้งค่า P และ R ให้สอดคล้องกับ Control Blocks
10. **I/B1** : I (Integral Time) / B1 (Ratio Bias 1)
กดเพื่อแสดงและตั้งค่า I และ B1 ให้สอดคล้องกับ Control Blocks
11. **D/B2** : D (Derivative Time) / B2 (Ratio Bias 2)
กดเพื่อแสดงและตั้งค่า D และ B2 ให้สอดคล้องกับ Control Blocks

ปุ่มใส่ข้อมูล (Ten keys)

ใช้ในการป้อนค่าต่างๆ ให้กับตัวควบคุม ได้แก่ ปุ่มหมายเลข 0 ถึง 9 รวมไปถึงปุ่มกด “.” และ “-“ ด้วย

ปุ่มเลือกฟังก์ชัน (Function keys)

เพื่อการเรียกใช้งาน Function ต่างๆ ของ Controller

1. **FLT** : ฟลทท์
ใช้เมื่อต้องการแสดงความผิดพลาดในตัวควบคุม โดยจะแสดงออกมาในรูปของรหัสค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นดังนี้

รหัสฟลทท์	ความหมาย
ไม่มี	ปกติ
1	ใส่รหัสฟังก์ชันผิดพลาด
2	รหัสเวเฟอร์ที่ใช้ไม่ถูกต้อง

รหัสฟลลท์	ความหมาย
3	มีความผิดพลาดใน normal / reverse operation code
4	สัญญาณอินเทอร์รัพผิดปกติ
5	A/D converter มีปัญหา
6	Analog input (PV, auxiliary AI) ผิดปกติ
7	ค่าตั้งต้นจากภายนอกผิดปกติ
8	ค่าเอาต์พุตจากตัวควบคุมผิดปกติ

ตาราง 3.2 แสดงรหัสฟลลท์

2. **INC** : เพิ่มค่า
ใช้เมื่อต้องการเพิ่มค่าในเซนแนลใดๆ ที่ได้เลือกไว้ก่อนแล้ว
3. **DEC** : ลดค่า
ใช้เมื่อต้องการลดค่าในเซนแนลใดๆ ที่ได้เลือกไว้ก่อนแล้ว
4. **H** : สูง
ใช้แสดงและตั้งค่าสูงสุดของ PV, SV และ MV ของ บล็อกควบคุม
5. **L** : ต่ำ
ใช้แสดงและตั้งค่าต่ำสุดของ PV, SV และ MV ของบล็อกควบคุม
6. **FIX** : Fix
ใช้เพื่อกำหนดข้อมูลใน Nonvolatile Memory ซึ่งค่านี้สามารถลบหรือเปลี่ยนค่าได้จากการ โปรแกรมเท่านั้น จะไม่ถูกลบ โดยการตัดไฟเลี้ยง
7. **ST** : เก็บค่า
ใช้เมื่อต้องการเก็บข้อมูลที่เรได้จาก การป้อนข้อมูลผ่านทางปุ่มป้อนค่าลงใน ส่วนควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. CL : เคลียร์ ใช้เมื่อต้องการยกเลิกค่าต่างๆ บนส่วนแสดงผล

9. T : Trace
กดเมื่อต้องการ Copy ข้อมูลที่ใช้ในส่วนควบคุมการทำงานไปเป็นค่าใน Nonvolatile Memory ทั้งหมด

ปุ่มตรวจสอบโปรแกรม (Debug Mode keys)

1. AD : Address
เมื่อเรากดปุ่มนี้ ปุ่มที่กดตามมาจะต้องเป็นเลขฐาน 16 (Hexadecimal) เพื่อตรวจสอบค่าในแต่ละ Address นั่นคือ เราต้องรู้ Address ของข้อมูลที่เราจะใช้ด้วย

ในการใช้งานจริง เมื่อเกิดการใช้งานที่ผิดพลาด ตัว Controller จะแสดงรหัสบอกลักษณะของ Error ที่เกิดขึ้นทาง LED 7-Segment Data-Display Section ดังนี้

รหัสความผิดพลาด	ความหมาย
10	Keying Operation Procedure is Invalid
20	Setting is impossible, but display only is possible
21	Data to be set exceeds the upper limit of the setting range
22	Data to be set does not reach the lower limit of the setting range
23	Data to be set exceeds the internally process range
30	Corresponding channel number is missing
40	Corresponding nonvolatile memory area is missing (When (FIX) key was operated

ตาราง 3.3 แสดงรหัสความผิดพลาดในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทำงาน (Operation)

□ เริ่มต้น

1. ปรับ Switch Unit ที่ด้านข้างของ Controller เพื่อเลือกโหมดการทำงานดังที่ได้กล่าวไปแล้ว
2. ป้อนไฟเลี้ยงที่ขา VP (+) และ PC (-)

□ เมื่อให้ตัวควบคุมทำงานแบบควบคุมด้วยมือ

1. ปรับ Lever ไปที่ Manual Mode “M”
2. ตั้งค่า SV โดยทาง Data Entry Unit หรือ Hard Manual Unit ด้านหน้าตัว Controller
3. ปรับค่า MV ที่เหมาะสมทาง Hard Manual Unit หรือ Data Entry Unit เพื่อให้ค่า PV และ SV สอดคล้องกัน
4. ถ้าต้องการอ่านค่า MV ให้ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยกดปุ่ม Change button ที่ด้านหน้าตัว Controller ค่า MV จะไปปรากฏที่ SV Indicator

□ เมื่อให้ตัวควบคุมทำงานแบบอัตโนมัติ

A. Constant Value Control (Secondary Block)

1. ปรับ Lever ไปที่ Manual Mode “M”
2. ตั้งค่า PID ของ Controller ให้เหมาะสมกับระบบที่จะควบคุม
3. ตั้งค่า SV โดยทาง Data Entry Unit หรือ Hard Manual Unit ด้านหน้าตัวควบคุม
4. ปรับ Lever ไปที่ Auto Mode “A” ค่า MV จะถูกสร้างเพื่อเป็นสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมในการควบคุมอย่างอัตโนมัติ

B. Cascade Control by External Setting (Secondary Block)

1. ปรับ Lever ไปที่ Manual Mode “M”
2. ตั้งค่า PID ของ Controller ให้เหมาะสมกับระบบที่จะควบคุม
3. ตั้งค่า SV โดยทาง Data Entry Unit หรือ Hard Manual Unit ด้านหน้าตัวควบคุม
4. ปรับ Lever ไปที่ “R” Secondary Block Controller จะทำงานสอดคล้องกับสัญญาณที่เข้าที่ขา CAS ซึ่งเป็นอีก Input หนึ่งและ PV รวมไปถึง SV ด้วยเพื่อสร้างสัญญาณควบคุม MV ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

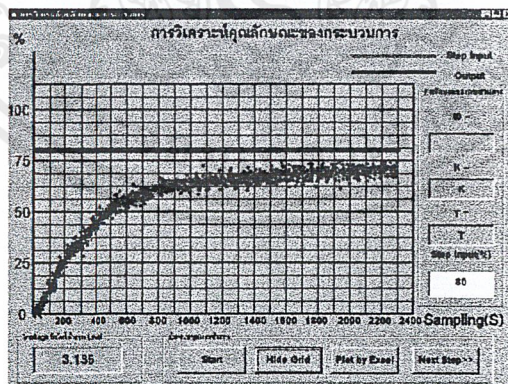
เนื่องจากค่าเวลาน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของค่าคงที่เวลา ดังนั้นตัวควบคุมของเราจึงใช้เพียงพารามิเตอร์พีและไอ ไม่ควรใช้พารามิเตอร์ดีเพราะจะทำให้กระบวนการแกว่งมากขึ้นและอาจทำให้ไม่เสถียรได้ แล้วนำพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้จากการคำนวณไปใช้กับกระบวนการแบบป้อนกลับ แล้วสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการ

4.2 ผลการทดลอง

ตั้งค่าให้อัตราขยายในส่วนป้อนกลับมีค่าเท่ากับ 1 โดยตั้งค่า 100% ของ Nivo-Meter ไว้ที่ระดับน้ำสูงสุดของกระบวนการแบบเปิดพบว่า เมื่อเราให้วาล์วเปิดเต็มที่ ระดับน้ำจะคงที่อยู่ที่ระดับ 310 มิลลิเมตร แล้วจึงหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากทฤษฎีของ Dr. Cecil L. Smith โดยป้อนสัญญาณขั้นบันไดให้กับกระบวนการ โดยเลือกค่าสัญญาณที่ป้อนเข้าให้เป็นสัญญาณขั้นบันไดที่ทำให้วาล์วควบคุมเปิด 80% (Step Change: Δm) จะได้ว่าระดับน้ำในแท็งก์เข้าสู่สภาวะคงที่ที่ค่า PV จาก Nivo-Meter 70% ดังนั้น ค่าอัตราขยายของกระบวนการ K

$$K = \frac{\Delta Cs}{\Delta m} \longleftrightarrow K = \frac{70\%TO}{80\%CO} = 0.875$$

และสามารถพิจารณาผลตอบสนองของระบบเปิดได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองของระบบเปิด

จากรูป พบว่าเมื่อระดับน้ำอยู่ที่ $0.283 \cdot \Delta Cs = 19.81\%$ จะได้ค่าเวลา $t_1 = 190$ วินาทีและที่ระดับน้ำ $0.632 \cdot \Delta Cs = 44.24\%$ จะใช้เวลา $t_2 = 480$ วินาที

ดังนั้น เราจึงได้ค่า $\tau = 1.5(t_2 - t_1) = 435$ วินาที (7.25 นาที) และได้ค่า $t_0 = t_2 - \tau = 45$ วินาที

(0.75 นาที) ดังนั้น จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราขยายของกระบวนการ : 0.875
- ค่าคงที่เวลา : 7.25 min.
- ค่าหน่วงเวลา : 0.75 min.

เนื่องจากกระบวนการของเราเป็นแบบอันดับที่ 1 ที่มีค่าหน่วงเวลา (First-Order-Plus-Dead-Time Process) ดังนั้น เราสามารถประมาณค่าฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้

$$G = \frac{K e^{-tDS}}{\tau S + 1} \quad \Rightarrow \quad G = \frac{0.875 e^{-0.75S}}{7.25S + 1}$$

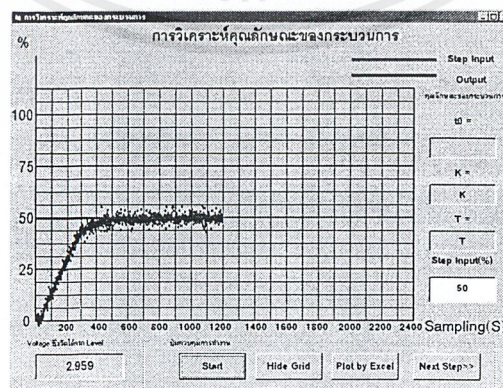
สามารถประมาณพจน์ Exponential ในสมการด้วยอนุกรมเทเลอร์ จะได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอน

$$G = \frac{0.875(1 - 0.75S)}{7.25S + 1}$$

จากหลักการของ Ziegler-Nichols สามารถคำนวณหาค่าพีไอดี แล้วทำการควบคุมแบบป้อนกลับ

- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 10
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 150 วินาที
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 วินาที

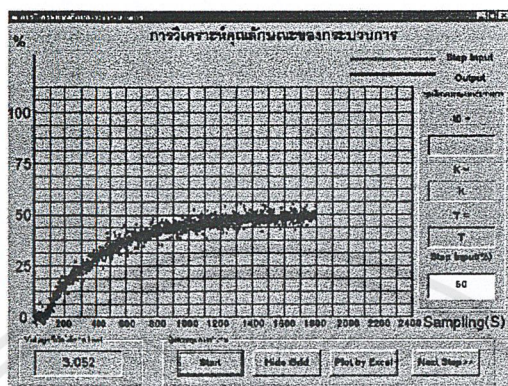
เมื่อเรารตั้งค่าให้ระดับน้ำอยู่ที่ 50% จะได้ค่าผลตอบสนองดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=150$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดลองเพิ่มค่า T_i ให้สูงขึ้น โดยยังใช้ค่าเป้าหมายเดิมและค่าพารามิเตอร์อื่นๆ คงที่ จะได้ผลตอบสนองดังรูป

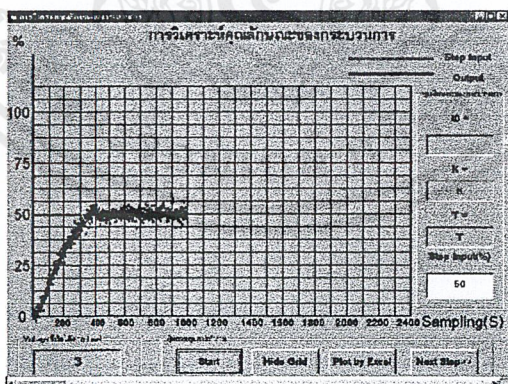


รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=420$

เมื่อ

- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 10
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 420 Sec
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 Sec

ในทางกลับกัน เมื่อลดค่า T_i ไปที่ 20 วินาทีโดยให้ค่าเป้าหมายและค่าพารามิเตอร์อื่นๆ คงที่ จะได้ผลตอบสนองดังรูป



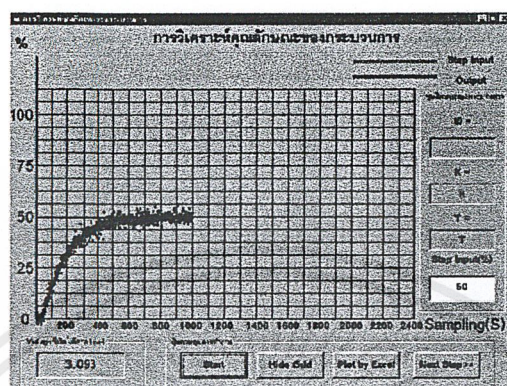
รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=20$

เมื่อ

- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 10
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 20 Sec
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้น ทดลองเพิ่มค่าอัตราขยาย K_p โดยให้ค่า T_i คงที่ที่ 150 วินาที จะได้ผลตอบสนองดังรูป

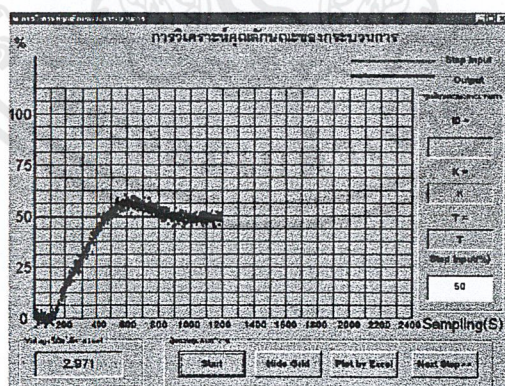


รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=50$ $T_i=150$

เมื่อ

- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 50
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 150 Sec
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 Sec

แล้วทำการลดค่า T_i เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนอง จะได้



รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=2$ $T_i=150$

เมื่อ

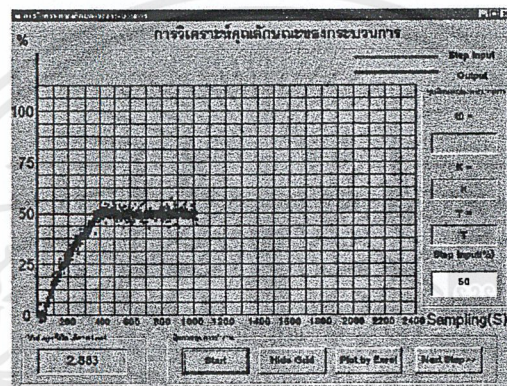
- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 2
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 150 Sec
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง เราสามารถสังเกตผลตอบสนองและหาค่าพารามิเตอร์พีไอดีที่เหมาะสมกว่าโดยเราเลือกค่า

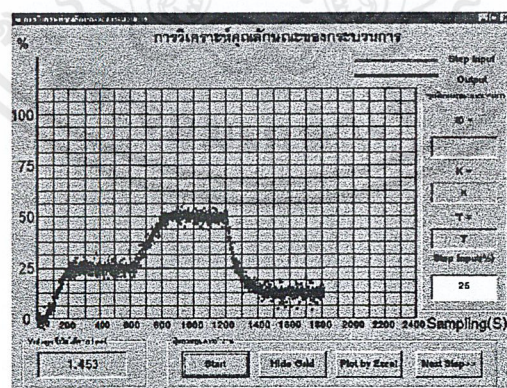
- ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (Proportional Gain) : 10
- ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral Time) : 80 Sec
- ค่าเวลาเดริเวทีฟ (Derivative Time) : 0 Sec

จะได้ผลตอบสนองดังรูป



รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=80$

เมื่อเราใช้ค่าพารามิเตอร์นี้กับกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย 25%, 50% และ 12.5% จะได้



รูปที่ 4.9 แสดงผลตอบสนองเมื่อใช้ตัวควบคุม $K_p=10$ $T_i=80$ โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์

สรุปผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา สามารถสรุปงานที่ทำได้ดังนี้

1. ส่วนกระบวนการ

- ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวในกระบวนการและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น วาล์วควบคุม ทรานส์มิเตอร์วัดระดับ เป็นต้น
- ศึกษาสัญลักษณ์มาตรฐานของอุปกรณ์และเอกลักษณ์ที่ใช้ในระบบมาอธิบายการทำงาน of กระบวนการได้
- สามารถนำตัวควบคุมมาควบคุมกระบวนการเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

2. ส่วนตัวควบคุม

- ศึกษาการใช้งานและส่วนประกอบของตัวควบคุมที่ใช้
- ศึกษาความแตกต่างของการทำงานในรูปแบบปรับค่าด้วยมือและแบบอัตโนมัติ
- ศึกษาวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดีอัตโนมัติและนำค่าที่ได้จากการทดสอบของผลตอบสนองของกระบวนการมาใช้กับตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

1. ส่วนกระบวนการ

- เครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณลมส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ตรงส่วน Connector มักจะหลวมต้องมีการขยับเข้าให้แน่นเป็นประจำ
- ข้อต่อของท่อมีรอยรั่วเล็กน้อยได้ถึงวัดระดับทำให้ค่าที่อ่านจากระดับถึงนั้นเกิดค่าผิดพลาดได้ซึ่งได้ทำการแก้ไขโดยใช้เทปพันกาวพันบริเวณที่รั่วนั้นๆ
- เดิมทีผู้ศึกษาเลือกใช้การควบคุมแบบต่อร่วม (Cascade Control) แต่เนื่องจากเมื่อได้ทำการทดลอง-แก้ไขระบบแล้วพบว่า เครื่องวัดอัตราการไหลของกระบวนการที่ศึกษาซับซ้อน ไม่สามารถส่งสัญญาณอินพุทให้ตัวควบคุมได้ ผู้ศึกษาจึงใช้เพียงการควบคุมแบบพื้นฐาน (Basic Control) โดยรับสัญญาณอินพุท มาจาก เครื่องวัดระดับในการควบคุมเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนตัวควบคุม

- คู่มือของตัวควบคุมซับซ้อนและไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานมากนัก ทำให้เข้าใจผิดและต้องศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ มากขึ้น
- สัญญาณเข้าตัวควบคุมเป็นสัญญาณ 1-5 โวลต์ แต่สัญญาณจากกระบวนการเป็นสัญญาณ 4-20 มิลลิแอมป์ จึงต้องใช้ตัวต้านทาน 250 โอห์มมาต่อคร่อมซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าต่างๆ ได้

3. ส่วนการทดลอง

ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากผลตอบสนอง โดยการป้อนสัญญาณขั้นบันไดนั้นได้วิเคราะห์และคำนวณจากการทดลองที่ใช้การสังเกตและดูจากกราฟที่ใช้โปรแกรมเพื่อหากราฟผลตอบสนองต่อช่วงเวลาแสดงผลออกมา ซึ่งไม่ได้นำค่าวัดจากกราฟผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการโดยตรงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้ แต่ก็ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการช่วยสร้างแบบจำลองหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมและสามารถแสดงผลเป็นกราฟเพื่อดูแนวโน้มของผลตอบสนองที่จะใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับกระบวนการจริง

แนวทางการพัฒนา

ถ้าอุปกรณ์ในกระบวนการมีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่านี้ และผู้ใช้มีความชำนาญและประสบการณ์ในการใช้ตัวควบคุมพีไอดีอัตโนมัติมากขึ้น รวมทั้งสามารถหาผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการได้โดยตรง ก็จะทำให้การควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

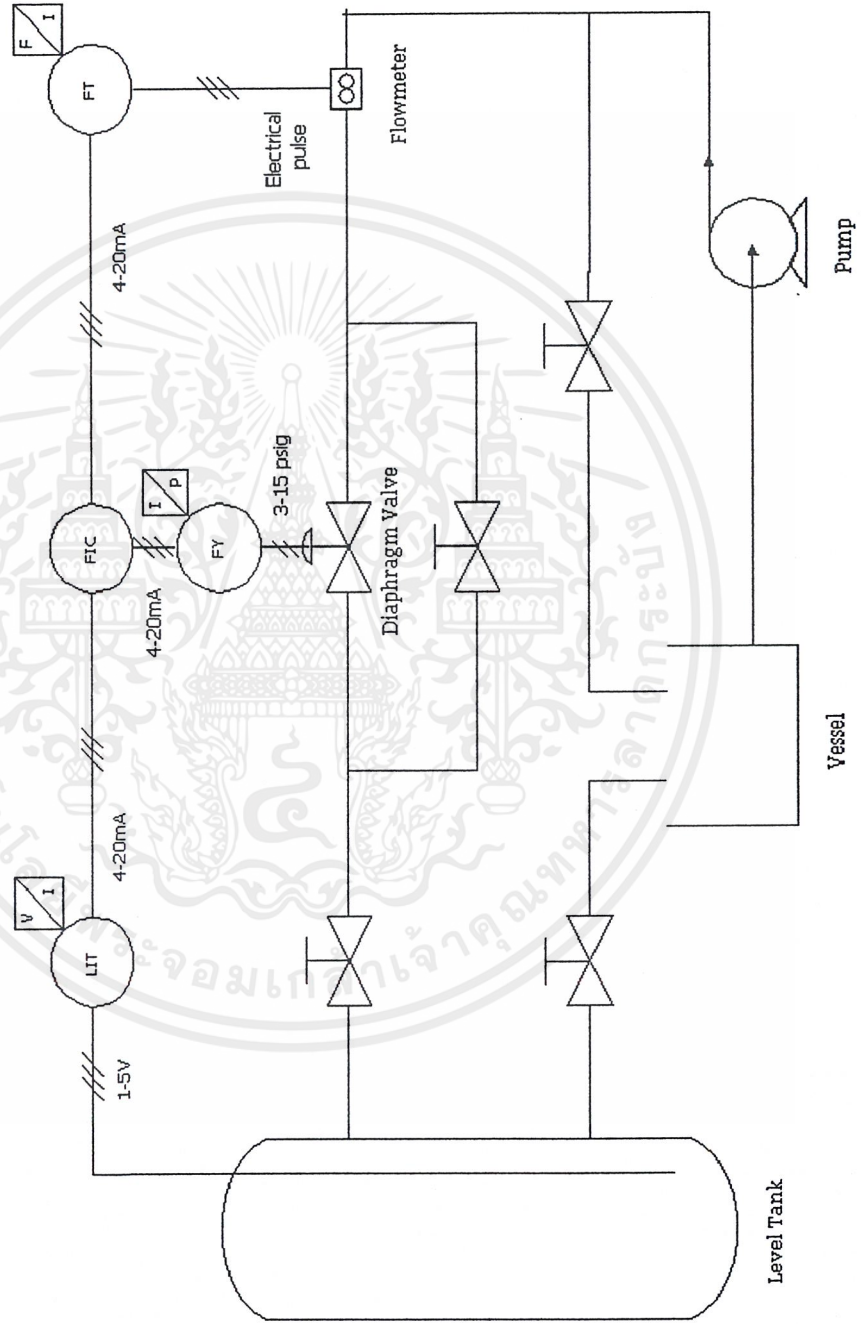


ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

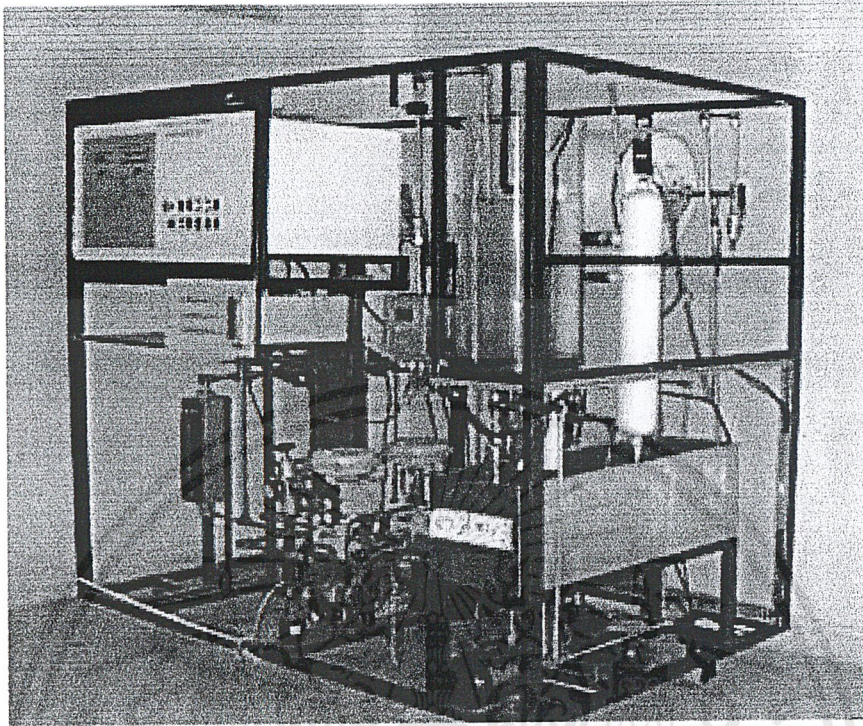
Project Plant

- FIC ~ Flow Indicating Controller
- FT ~ Flow Transmitter
- FY ~ Flow Computing
- LIT ~ Level Indicating Transmitter

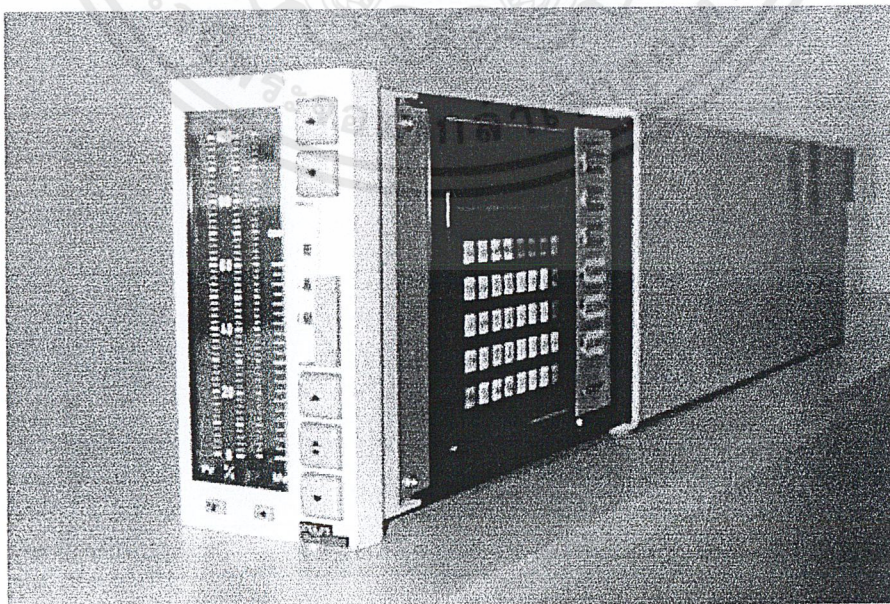


รูปแผนผังจำลองกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปกระบวนการการควบคุมระดับของเหลว



รูปตัวควบคุมพีไอซีอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ภายในกระบวนการ

Instrument	Specification
Level Transducer	Output Voltage: 1-5 V.
Nivo-Meter	Output Current: 4-20 mA Main Supply: 230 V.
Pump	Type 1 Ph. Cap. Start and run motor W/HP: 0-37/0-5 Volts: 240 V. 50 Hz.
Current to Pressure Transducer	Input Current: 4-20 mA Output Pressure: 3-15 psi
Flow Meter	INST. NO 9668 Model TFM: FI8500 Flow Range: 600 LPH K Factor: 14605 P/L Output Current: 4-20 mA Power Input: 24 V.DC
Control Valve	SAMSON Type : 265 Supply: 6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. KINDS AND SETTING RANGE OF DISPLAY AND SETTING DATA

Data will be described according to channels.

3.1 Dimension channels

Dimension channels set display scales (PV and SV) of the primary or secondary channel block.

The "decimal point position" sets the number of digits below decimal point of the display scale. The "full scale" and "base" mean the full scale and base of the display scale, and set a value excluding decimal point

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
dim 0 1	FSC1	Full scale of primary control block	-9999.	32767.	Industrial value	See Notes) 1~3.
dim 0 2	BSC1	Base of primary control block	-9999.	32767.	Industrial value	
dim 0 3	PNT1	Decimal point position of primary control block	0.	4.		
dim 0 4	—	—	Not settable		—	—
dim 0 5	—	—	Not settable		—	—
dim 0 6	FSC2	Full scale of secondary control block	-9999.	32767.	Industrial value	See Notes) 1~3.
dim 0 7	BSC2	Base of secondary control block	-9999.	32767.	Industrial value	
dim 0 8	PNT2	Decimal point position of secondary control block	0.	4.		
dim 0 9	—	—	Not settable		—	—

Example of setting the dimension channel

When display scale is 25.0 ~ 1500.0;

- * Full scale : 15000 excluding decimal point
- * Base : 250 excluding decimal point
- * Decimal point : 1 (unitplace of decimals) position

- Notes) 1. The primary dimension is employed only for SV when the ratio operation block is employed on the primary side.
2. The primary dimension is employed for the vertical axis of the program pattern when the program setting block is used on the primary side.
3. Set the dimension channel within the following range.

$$|FSC1 - BSC1|, |FSC2 - BSC2| \leq 32767$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Primary control block channel

These channels display and set signal values (1st 01 ~ 1st 08) and control parameters (1st 09 ~ 1st 24) of the primary control block. The primary control block obtains the following three kinds of blocks and their channel contents differ from each other.

- 1 Cascade control block
- 2 Ratio operation block
- 3 Program setting block

For asterisked(*) data, individual data type keys are exclusively provided.

Example) *MODE: Key in [1st] and [MOD]

For data marked with **, display and set them by depressing data type key and [H] or [L] key

Example) **MH: Depress [1st] [MV] and [H] keys.

Select other data according to channel numbers.

Example) GAP: Depress [1st] [2] and [2] keys

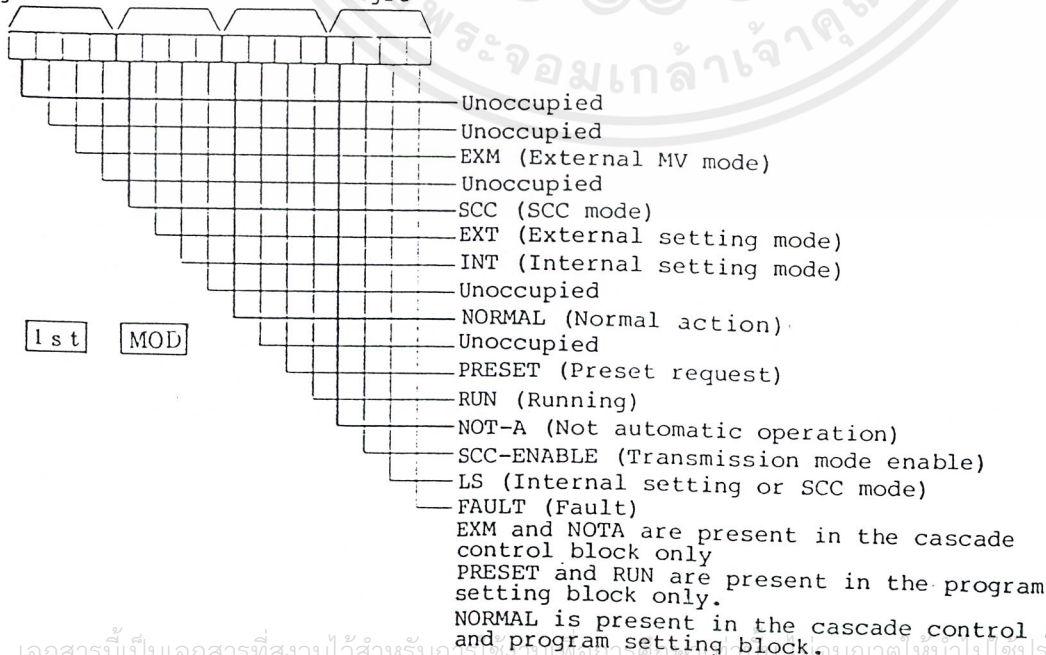
The operation modes and alarms are displayed in hexadecimal notation according to the patterns shown below.

* Primary control block MODE, ALM bit patterns

(1) MODE (Operation mode)

Higher significant digit

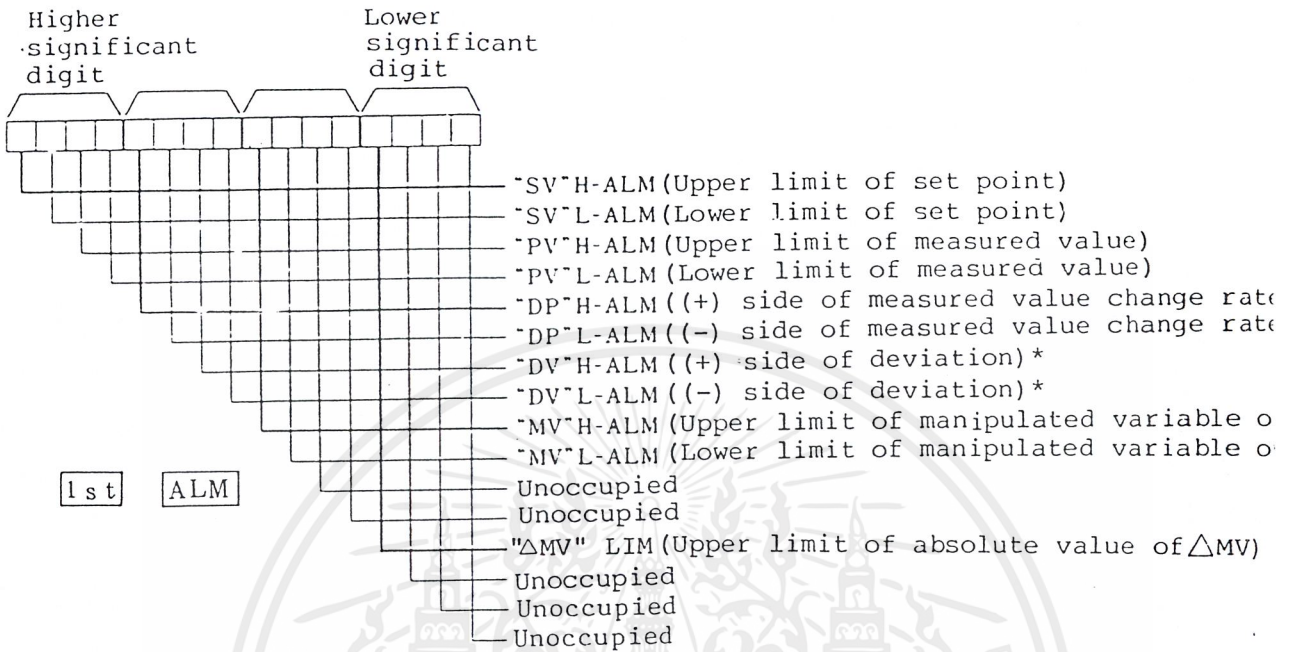
Lower significant digit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ALM (Alarm)



Note) Asterisk indicates "unoccupied" in the ratio operation block.

(1) Cascade control block

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
1st 0 1	*MODE	Operation mode	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
1st 0 2	*ALM	Alarm	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
1st 0 3	*PV	Measured value	Not settable		Industrial value	
1st 0 4	*SV	Set point	According to dimension channel		Industrial value	
1st 0 5	*MV	Manipulated variable output	Not settable		%	
1st 0 6	*CAS	Remote set point	Not settable		Industrial value	Value of wafer 21, input 2
1st 0 7	*DV	Deviation	Not settable		%	
1st 0 8	Δ MV	Manipulated variable output change rate	Not settable		%	
1st 0 9	DH	Upper limit of absolute value of deviation	0.00	100.00	%	Settable every 0.01
1st 1 0	**SH	Upper limit of set point	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 1	**SL	Lower limit of set point	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 2	**PH	Upper limit of measured value	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 3	**PL	Lower limit of measured value	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 4	**MH	Upper limit of manipulated variable output	-327.6	327.6	%	Settable every 0.01
1st 1 5	**ML	Lower limit of manipulated variable output	-327.6	327.6	%	Settable every 0.01
1st 1 6	Δ PV/ Δ T	Upper limit of measuring value change rate	0.00	100.00	%	Settable every 0.01. Change ratio every basic period
1st 1 7	DT	Control cycle	0.2	3276.6	sec	Settable every 0.2
1st 1 8	*P	Proportional band	1.0	655.3	%	Settable every 0.1
1st 1 9	*I	Integral time	0.2	3276.6	sec	Settable every 0.2
1st 2 0	*D	Derivative time	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2
1st 2 1	*TF	Filter time constant	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2
1st 2 2	GAP	Dead band	0.0	100.0	%	Settable every 0.1
1st 2 3	Δ MVH/DT	Upper limit of manipulated variable output change rate	0.0	100.0	%	Settable every 0.1 Change rate every sampling period
1st 2 4	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Ratio operation block

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
1st 0 1	*MODE	Operation mode	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
1st 0 2	*ALM	Alarm	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
1st 0 3	*PV	Measured value	Not settable		%	
1st 0 4	*SV	Ratio	According to dimension channel		Industrial value	
1st 0 5	*MV	Manipulated variable output	Not settable		%	
1st 0 6	*CAS	Remote ratio	Not settable		Industrial value	Value of wafer 24, input 2
1st 0 7	—	—	—	—	—	—
1st 0 8	—	—	—	—	—	—
1st 0 9	—	—	—	—	—	—
1st 1 0	**SH	Upper limit of ratio	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 1	**SL	Lower limit of ratio	According to dimension channel		Industrial value	
1st 1 2	**PH	Upper limit of measured value	-25.0	125.0	%	Settable every 0.1
1st 1 3	**PL	Lower limit of measured value	-25.0	125.0	%	Settable every 0.1
1st 1 4	**MH	Upper limit of manipulated variable output	-327.6	327.6	%	Settable every 0.1
1st 1 5	**ML	Lower limit of manipulated variable output	-327.6	327.6	%	Settable every 0.1
1st 1 6	$\Delta PV / \Delta T$	Upper limit of measured value change rate	0.00	100.00	%	Settable every 0.01. Change rate every basic period
1st 1 7	*B3	Ratio bias 3	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
1st 1 8	*R	Ratio coefficient	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
1st 1 9	*B1	Ratio bias 1	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
1st 2 0	*B2	Ratio bias 2	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
1st 2 1	*TF	Filter time constant	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2
1st 2 2	—	—	—	—	—	—
1st 2 3	—	—	—	—	—	—
1st 2 4	—	—	—	—	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Program setting block

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
1st 0 1	*MODE	Operation mode	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
1st 0 2	--	--	--	--	--	--
1st 0 3	--	--	--	--	--	--
1st 0 4	R.PRESET	Remote preset time	Not settable		min, hour day	Value of wafer 26, 27, 2A, 2B input 3
1st 0 5	PRESET	Preset time	Not settable		min, hour day	--
1st 0 6	STEP	Step counter	0.	7.		
1st 0 7	TIME	Lapse time	0.	32767.	sec, min	Lapse time in one step
1st 0 8	MV	Manipulated variable output	Not settable		%	
1st 0 9	ZONE	Zone setting	0.	67.		
1st 1 0	S00	Output value (0)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 1	S01	Output value (1)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 2	S02	Output value (2)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 3	S03	Output value (3)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 4	S04	Output value (4)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 5	S05	Output value (5)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 6	S06	Output value (6)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 7	S07	Output value (7)	According to dimension channel		Industri- al value	
1st 1 8	T00	Time width (0)	0.	32767.	sec, min	
1st 1 9	T01	Time width (1)	0.	32767.	sec, min	
1st 2 0	T02	Time width (2)	0.	32767.	sec, min	
1st 2 1	T03	Time width (3)	0.	32767.	sec, min	
1st 2 2	T04	Time width (4)	0.	32767.	sec, min	
1st 2 3	T05	Time width (5)	0.	32767.	sec, min	
1st 2 4	T06	Time width (6)	0.	32767.	sec, min	

- Notes) 1. The setting range of output values S00~S07 is
-327.67%~327.67% in % conversion.
2. The unit of time width T00~T06 is sec (second) or
min (minute) according to program setting wafers
employed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. The time axis can optionally be relocated by setting the step counter and lapse time.
4. Zone setting (ZONE) is data for outputting the progressive conditions of program setting pattern. The tenth place of this data represents the start point, while the unit place indicates the end point. Accordingly, if data 13 is set, the zone signal is turned on (=1) only when a program is executed from broken point 1 (S01) to broken point 3 (S03). (See Fig. 2-1) The zone signal is outputted from wafer output terminal WY2. If 6 is set, the zone signal is turned on from broken point 0 (S00) to broken point 6 (S06), showing the tenth place=0. If a data showing the relation of start point \geq end point like 42 or a data containing an inexistent point like 18 is set, zone setting (ZONE) is displayed as 0 and the zone signal turns off immediately.

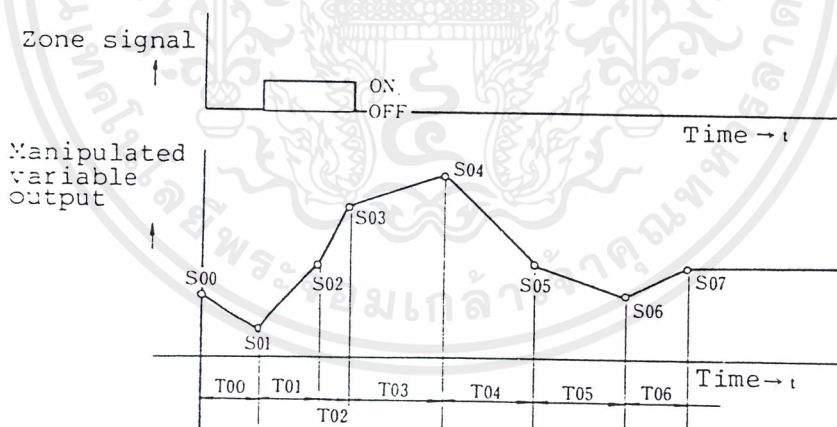


Fig. 2-1 Program pattern

3.3 Secondary control block channel

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
2nd 0 1	*MODE	Operation mode	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
2nd 0 2	*ALM	Alarm	Not settable			Hexadecimal notation (See Note 1 on page 2-5)
2nd 0 3	*PV	Measured value	Not settable		Industrial value	
2nd 0 4	*SV	Set point	According to dimension channel		Industrial value	
2nd 0 5	*MV	Manipulated variable output	Not settable		%	
2nd 0 6	*CAS	Remote set point	Not settable		Industrial value	Value of wafer 41, input 2
2nd 0 7	*DV	Deviation	Not settable		%	
2nd 0 8	Δ MV	Manipulated variable output change rate	Not settable		%	
2nd 0 9	DH	Upper limit of absolute value of deviation	0.00	100.00	%	Settable every 0.01
2nd 1 0	**SH	Upper limit of set point	According to dimension channel		Industrial value	
2nd 1 1	**SL	Lower limit of set point	According to dimension channel		Industrial value	
2nd 1 2	**PH	Upper limit of measured value	According to dimension channel		Industrial value	
2nd 1 3	**PL	Lower limit of measured value	According to dimension channel		Industrial value	
2nd 1 4	**MH	Upper limit of manipulated variable output	-25.0	125.0	%	Settable every 0.1
2nd 1 5	**ML	Lower limit of manipulated variable output	-25.0	125.0	%	Settable every 0.1
2nd 1 6	Δ PV/ Δ T	Upper limit of measured value rate	0.00	100.00	%	Settable every 0.01. Change rate every basic period
2nd 1 7	DT	Control cycle	0.2	3276.6	sec	Settable every 0.2
2nd 1 8	*P	Proportional band	1.0	655.3	%	Settable every 0.1
2nd 1 9	*I	Integral time	0.2	3276.6	sec	Settable every 0.2
2nd 2 0	*D	Derivative time	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2
2nd 2 1	*TF	Filter time constant	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2
2nd 2 2	GAP	Dead band	0.0	100.0	%	Settable every 0.1
2nd 2 3	Δ MVH/DT	Upper limit of manipulated variable output change rate	0.0	100.0	%	Settable every 0.1 Change rate every sampling period
2nd 2 4	FS	Full stroke	0.0	900.0	sec	Settable every 0.2 (in case of PML)

Notes) 1. is present in the intermittent output type (PML) only.

2. For asterisked (*) data, individual data type keys are present exclusively.

Example) *MODE:

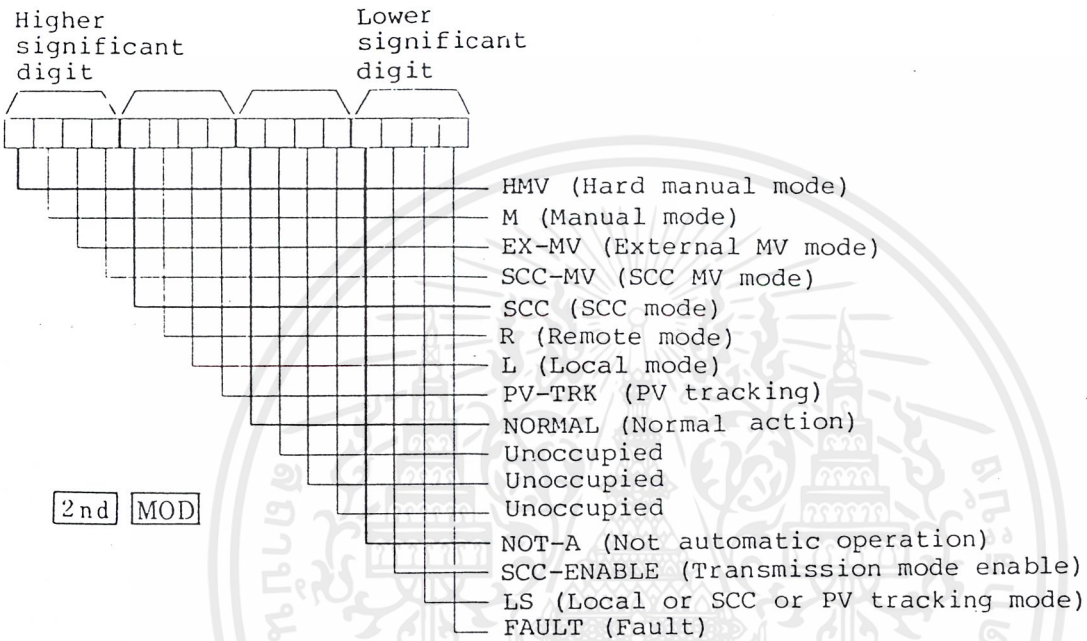
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data marked with ** can be displayed and set by depressing data type keys and H or L key.

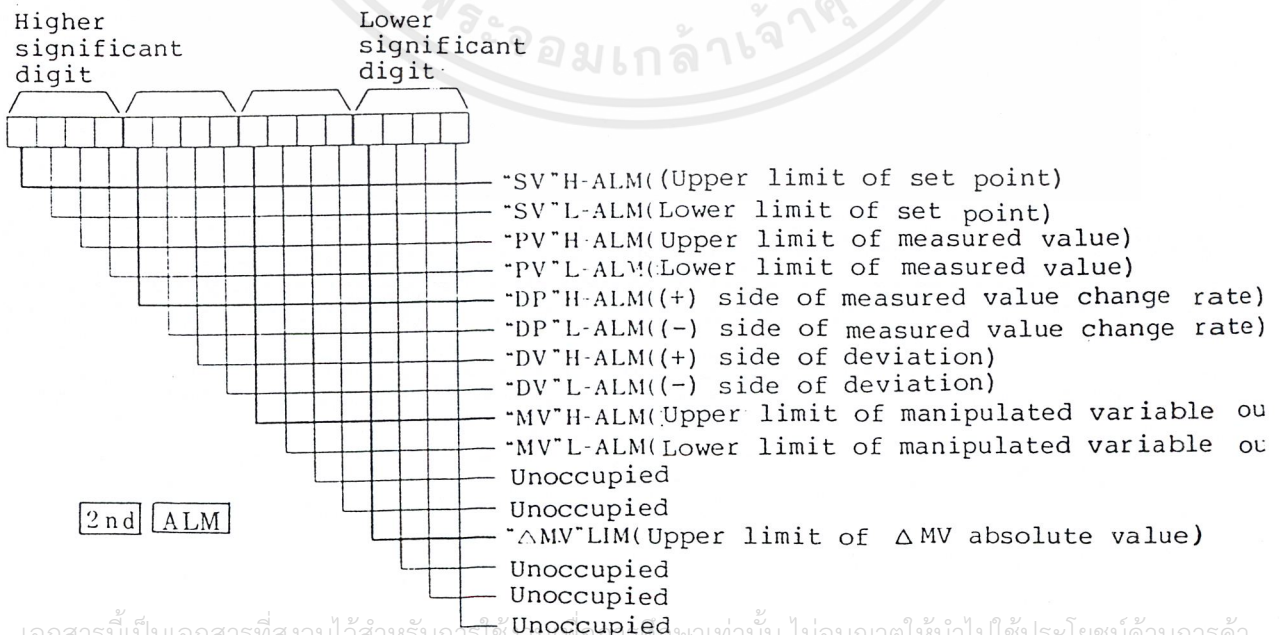
Example) **SH: 2nd SV H

* Secondary control block MODE, ALM bit patterns

(1) MODE (Operation mode)



(2) ALM (Alarm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในชื่อของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Broken line approximation channel

	Channel No.				Abbrevia tion of signal	Name of signal	Setting range		Unit		
	Broken line approxima tion(1)		Broken line approxima tion(2)				MIN	MAX			
Input X	LN	0	1	LN	1	7	X 0	Broken line approximation Broken point X0	-327.6	327.67	%
	LN	0	2	LN	1	8	X 1	Broken line approximation Broken point X1	-327.6	327.67	%
	LN	0	3	LN	1	9	X 2	Broken line approximation Broken point X2	-327.6	327.67	%
	LN	0	4	LN	2	0	X 3	Broken line approximation Broken point X3	-327.6	327.67	%
	LN	0	5	LN	2	1	X 4	Broken line approximation Broken point X4	-327.6	327.67	%
	LN	0	6	LN	2	2	X 5	Broken line approximation Broken point X5	-327.6	327.67	%
	LN	0	7	LN	2	3	X 6	Broken line approximation Broken point X6	-327.6	327.67	%
	LN	0	8	LN	2	4	X 7	Broken line approximation Broken point X7	-327.6	327.67	%
Output Y	LN	0	9	LN	2	5	Y 0	Broken line approximation Broken point Y0	-327.6	327.67	%
	LN	1	0	LN	2	6	Y 1	Broken line approximation Broken point Y1	-327.6	327.67	%
	LN	1	1	LN	2	7	Y 2	Broken line approximation Broken point Y2	-327.6	327.67	%
	LN	1	2	LN	2	8	Y 3	Broken line approximation Broken point Y3	-327.6	327.67	%
	LN	1	3	LN	2	9	Y 4	Broken line approxiamtion Broken point Y4	-327.6	327.67	%
	LN	1	4	LN	3	0	Y 5	Broken line approximation Brodren point Y5	-327.6	327.67	%
	LN	1	5	LN	3	1	Y 6	Broken line approximation Broken point Y6	-327.6	327.67	%
	LN	1	6	LN	3	2	Y 7	Broken line approximation Broken point Y7	-327.6	327.67	%

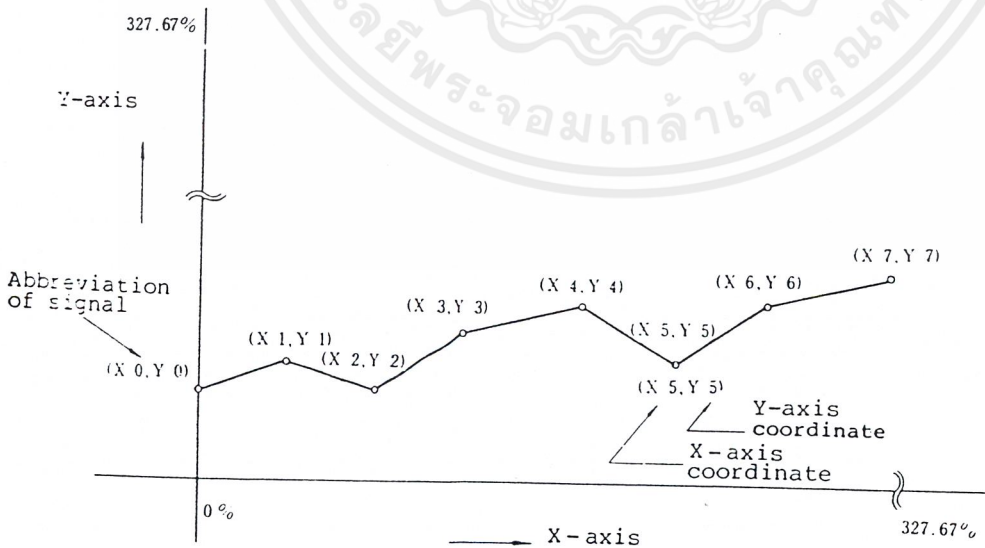


Fig. 2-2 Broken line approximation to abbreviation of signals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Constant channels

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
CON 0 1	1stSV	Constant 1 (SV preset value of primary control block)	According to dimension channel		Industrial value	
CON 0 2	1stMV	Constant 2 (MV preset value of primary control block)	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
CON 0 3	2ndSV	Constant 3 (SV preset value of secondary control block)	According to dimension channel		Industrial value	
CON 0 4	2ndMV	Constant 4 (MV preset value of secondary control block)	-25.0	125.0	%	Settable every 0.1
CON 0 5		Constant 5 (Temperature/pressure compensation cut point)	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
CON 0 6 }		Constant 6 ~ Constant 16	-327.6	327.67	%	Settable every 0.01
CON 1 6						

- Notes) 1. Constants 1~4 are defined as instructed in the above table; provided that,
- 1) When the ratio operation block is employed on the primary, constant 1 (CON 01) is defined as the preset value of SV (ratio), but constant 2 (CON 02) can be employed as a general constant.
 - 2) When the program setting block is employed on the primary, constant 2 (CON 02) is defined as the preset time at the initial time, but constant 1 (CON 01) is not defined as the preset value.
2. Constant 5 is defined as the temperature/pressure compensation cut point when the temperature/pressure compensation wafer is employed. It can be used as a general constant, if the above wafer is not employed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

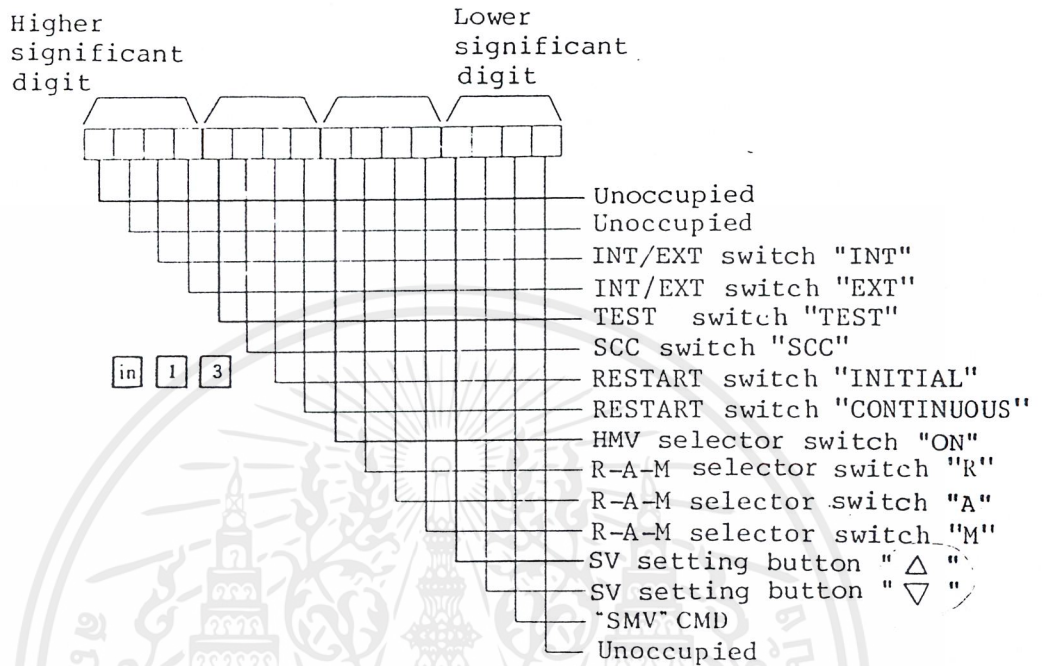
3.6 Input channel

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
in 0 1	AI1	Analog input 1	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 2	AI2	Analog input 2	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 3	AI3	Analog input 3	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 4	AI4	Analog input 4	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 5	AI5	Analog input 5	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 6	PV	Measured value	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 7	CAS	Remote set point	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 8	MVA	MV read back value	Not settable			(0 - 5V · 0 - 4000)
in 0 9	—	—	Not settable		-	
in 1 0	—	—	Not settable			
in 1 1	—	—	Not settable			
in 1 2	—	—	Not settable			
in 1 3	MOD, SID	Mode switch, side panel switch	Not settable			Hexadecimal notation (See note 1 on page 2-5)
in 1 4	EXT·DI	External DI	Not settable			Hexadecimal notation (See note 1 on page 2-5)

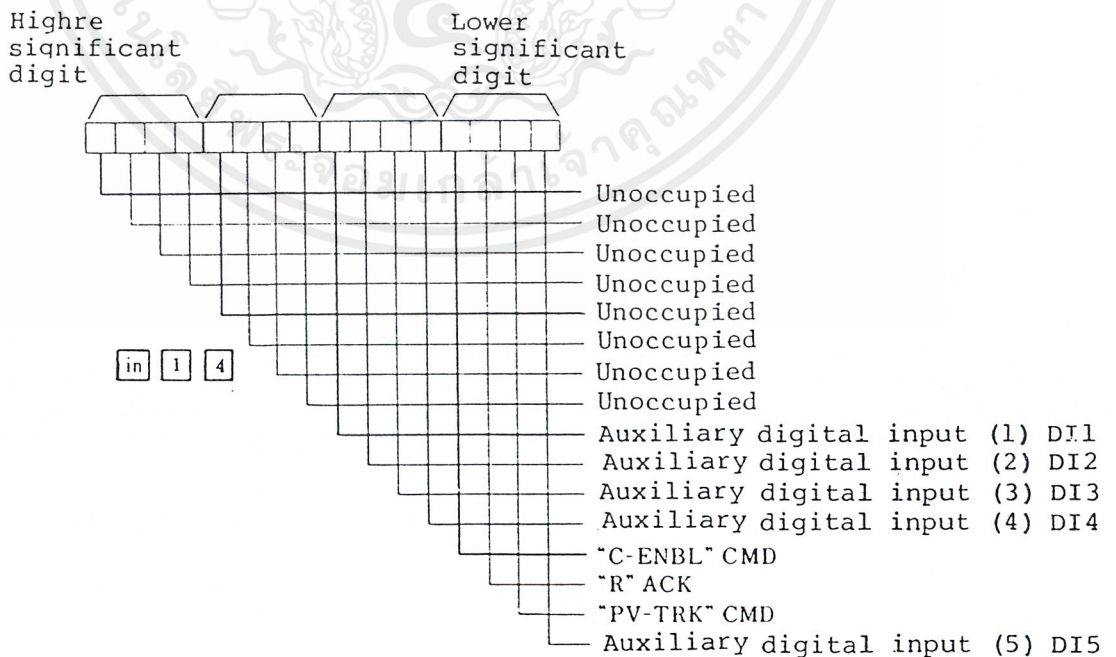
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* Input channel mode switch, side panel switch, and external DI bit pattern

Mode switch and side panel switch



External DI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 Output channel

Channel No.	Abbreviation of signal	Name of signal	Setting range		Unit	Remarks
			MIN	MAX		
out 0 1	AO1	Analog output 1	Not settable			Standardized data (0 ~ 10000)
out 0 2	AO2	Analog output 2	Not settable			Standardized data (0 ~ 10000)
out 0 3	KPV	Measured value	Not settable			Standardized data (0 ~ 10000)
out 0 4	SV	Set point	Not settable			Standardized data (0 ~ 10000)
out 0 5	—	—	Not settable		—	—
out 0 6	—	—	Not settable		—	—
out 0 7	—	—	Not settable		—	—
out 0 8	—	—	Not settable		—	—
out C 9	—	—	Not settable		—	—
out 1 0	—	—	Not settable		—	—
out 1 1	—	—	Not settable		—	—
out 1 2	—	—	Not settable		—	—
out 1 3	MODLP	Mode lamp	Not settable			Hexadecimal notation (See note 1 on page 2-5)
out 1 4	EXT·DO	External DO	Not settable			Hexadecimal notation (See note 1 on page 2-5)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากอาจารย์สว่าง เลิศถิรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา พร้อมทั้งคุณาจารย์ทุกท่านที่ได้ ประสทธิประสาทความรู้และให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ. โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ของผู้จัดทำที่ได้อุปการะผู้จัดทำ รวมทั้งยังเป็นผู้ให้ กำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ใช้อุปกรณ์ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดย ตลอด



ผู้จัดทำ
นายวิวิธ บัวเผื่อน
นางสาวประอรรัตน์ กิรติผจญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สุเชียร เกียรติสุนทร, “พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2536
2. สมศักดิ์ กิรติวุฒิเศรษฐ์, “หลักการและการทำงานของมือวัดในอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 200 หน้า, 2542
3. เจษฎา ตั้งเขตมงคลสุข และ แมนรัตน์ รุ่งวัฒนโยธิน, “ตัวควบคุมพีไอดัชนีหลากหลายอินพุท”, ปรินูญยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม, ปีการศึกษา 2541
4. นิตต์แก้ว จิรไพโรจน์ และ ศิริวรรณ วิทยาการโกวิท, “ตัวควบคุมพีไอดัชนีค่าอัตโนมัติ”, ปรินูญยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม, ปีการศึกษา 2542
5. Curtis D.Johnson, “Process Control Instrumentation Technology”, Fifth edition, Prentice-Hall International Inc.
6. Carlos A.Smith, Ph.D., P.E. and Armando B.Corripio, Ph.D., P.E., “ Principles and Practice of Automatic Process Control”, John Wiley & Sons Inc., 1997
7. Raymond Mulley, “Control System Documentation Applying Symbols and Identification”, Instrument Society of America
8. Katsuhiko Ogata, ”Modern Control Engineering”, Third edition, Prentice-Hall International Inc. 997 p.
9. Harold L. Wade, “Regulatory and Advanced Regulatory Control: System Development”, Instrument Society of America, 261 p.