



การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม (PID) แบบ อัตโนมัติ

PID AUTO TUNING

โดย

นาย	ชลิต	จำปาเงิน
นาย	นัญพงษ์	พวงแก้ว
นางสาว	สุรีพร	พรไกวล์

วัน เดือน ปี.....29.กย. 2541.....
เลขทะเบียน.....038042.....
เลขเรียกหนังสือ.....T.390.62.....
8.252 ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

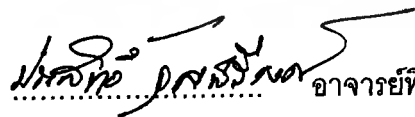
038042

ภาควิชา : เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สาขา : วิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
สถาบัน : เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง : การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม (PID) แบบ อัตโนมัติ
PID AUTO TUNING

ผู้จัดทำ :

นาย	ชลิต	จำปาเงิน	36014097
นาย	ณัฐพงษ์	พวงแก้ว	36014218
นางสาว	สุรียพร	พรไกวัด	36014521



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ประภาศ อุดคคิมาพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม (PID) แบบ อัตโนมัติ

โดย นาย ชลิต จำปาเงิน 36014097
นาย นัญพงษ์ พวงแก้ว 36014218
นางสาว สุวีพร พรไกววัล 36014521
อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสวีวงษ์
อาจารย์ ประภาษ อุดคกิมภาพันธุ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์เสริม เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานการควบคุมกระบวนการ แก่บุคคลที่ยังมีประสบการณ์ทางด้าน การปรับค่าพารามิเตอร์ (parameter) ไม่เพียงพอ เนื่องด้วยขั้นตอนในการเลือกวิธี ตลอดจนค่าพารามิเตอร์ (parameter) ในการควบคุม เป็นงานที่ใช้เวลามาก ที่จะให้ได้การควบคุมกระบวนการเป็นไปตามความต้องการ สำหรับผู้ที่ยังไม่มีความชำนาญ

ถึงแม้ปัจจุบัน อุปกรณ์ควบคุมจะมีฟังก์ชัน (function) การทำงานแบบ Auto-tuning หรือ Self-tuning อยู่ภายในแล้วแต่ อุปกรณ์ควบคุมเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถเข้ามาเป็นอุปกรณ์ควบคุมในทุกระบวนการที่มีอยู่ในงานอุตสาหกรรม จึงยังต้องอาศัยบุคคลทำหน้าที่เตรียมค่าพารามิเตอร์ (parameter) สำหรับอุปกรณ์ควบคุมอยู่ การปรับค่าสำหรับการควบคุมแบบ PID ในโครงการนี้ เป็นการเสนอแนวทางในการควบคุม ที่สอดคล้องเหมาะสมกับแต่ละกระบวนการได้ในระดับหนึ่ง

ค่าพารามิเตอร์ (parameter) ที่ได้ อาจจะไม่ใช่ว่าดีที่สุดที่สุดสำหรับการควบคุม แต่ในการควบคุมกระบวนการผลที่ได้เป็นที่ยอมรับว่าเหมาะสมเพียงพอ

PID AUTO TUNING

Chalit	Chumpangem	36014097
Nuttapong	Puangkaw	36014218
Sureeporn	Pomkaiwun	36014521
Adviser		
Prasit	Julsereewong	
Prapas	Ukakimapun	

ABSTRACT

In general, the low cost controller is not consisted of auto - tuning function. Therefore this project is present an implementation of auto - tuning function into the low cost controller. Normally, the PID parameters can be tune by the experience user. However, by using the proposed project, the PID parameters will be automatically tuned without the need of experience user.

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้าที่
บทนำ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ	1
บทที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการหาคุณลักษณะของกระบวนการ	20
บทที่ 2 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม	27
บทที่ 3 แนวทางการแก้ไขข้อจำกัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์	32
บทที่ 4 รายละเอียดโปรแกรมการใช้งาน, ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง และการทดลอง	36
บทที่ 5 แนวทางการพัฒนา	44
ภาคผนวก	



บทนำ

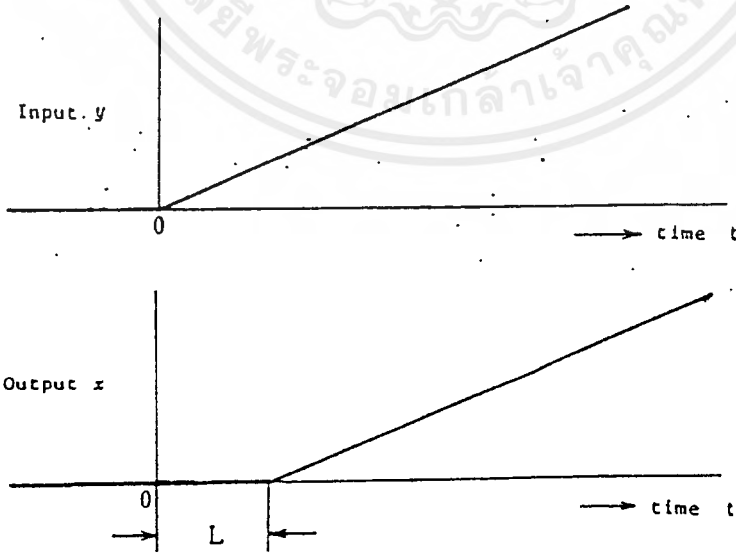
ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Process Control)

1. กระบวนการ (Process) คือ การปฏิบัติการหรือลำดับการปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ ให้อยู่ในรูปของค่าข้อมูลต่าง ๆ ขบวนการมี 2 แบบ คือ

- ขบวนการแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) เป็นกระบวนการที่ปฏิบัติการที่มีการไหลของวัตถุดิบเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
- ขบวนการแบบหมู่ (Batch Process) เป็นขบวนการไม่ต่อเนื่องในการปฏิบัติการหรือการผลิต การปฏิบัติการจะมีลักษณะการใช้ปริมาณของวัตถุดิบเป็นช่วง ๆ หรือมีการจำกัดของปริมาณ

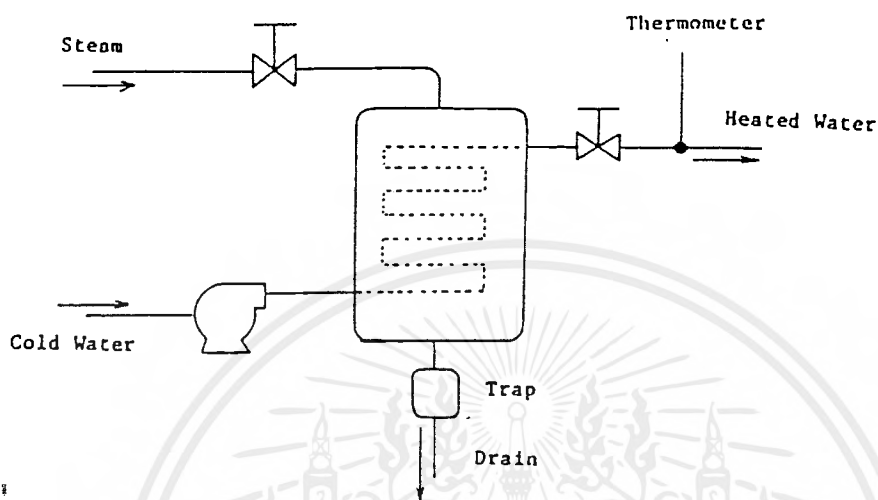
2. ลักษณะของขบวนการ (Process Characteristics)

- Ramp response : ลักษณะของสัญญาณโดยสัญญาณเข้า เพิ่มหรือลดในอัตราที่เปลี่ยนแปลงคงที่
- Dead time : เป็นช่วงเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า กับ กระบวนการ แล้วกระบวนการเริ่มมีผลตอบสนองจากสัญญาณเข้า



รูปที่ 1 Ramp response of a Dead time Process

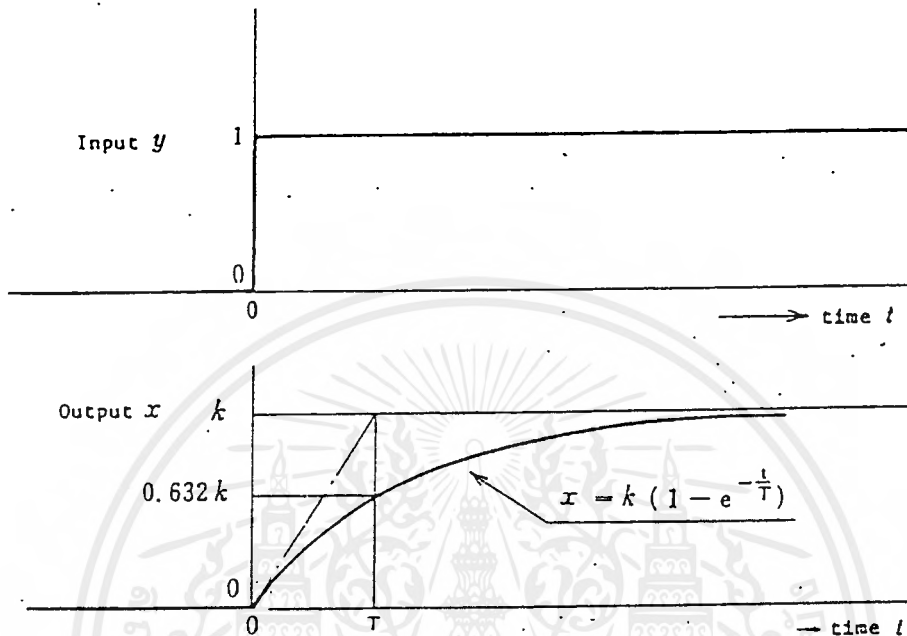
- Transient response (ผลตอบสนองชั่วครู่) เป็นลักษณะของระบบที่เปลี่ยนแปลงทันทีที่ สัญญาณเข้า



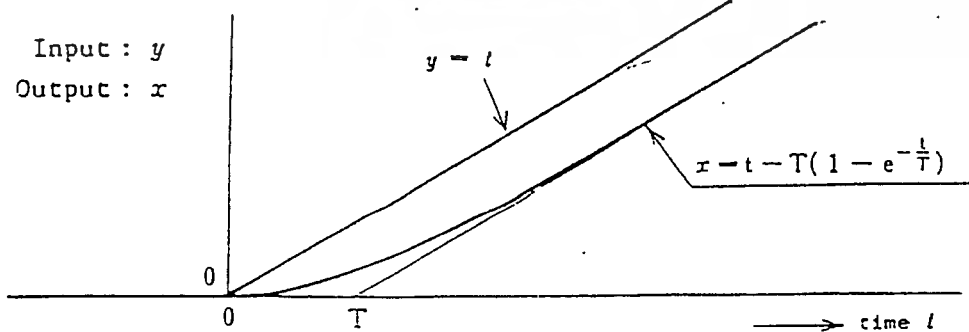
รูปที่ 2 แสดงกระบวนการของการแลกเปลี่ยนความร้อน

สาเหตุของความล่าช้าของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

1. ค่าความต้านทานทางความร้อนและความจุของท่อ
2. ค่าความต้านทานทางความร้อนและค่าความจุของน้ำ
3. ค่าความต้านทานระหว่างไอน้ำและท่อ ท่อและน้ำ
4. ค่าความต้านทานทางความร้อนและค่าความจุของเทอร์มิโมมิเตอร์

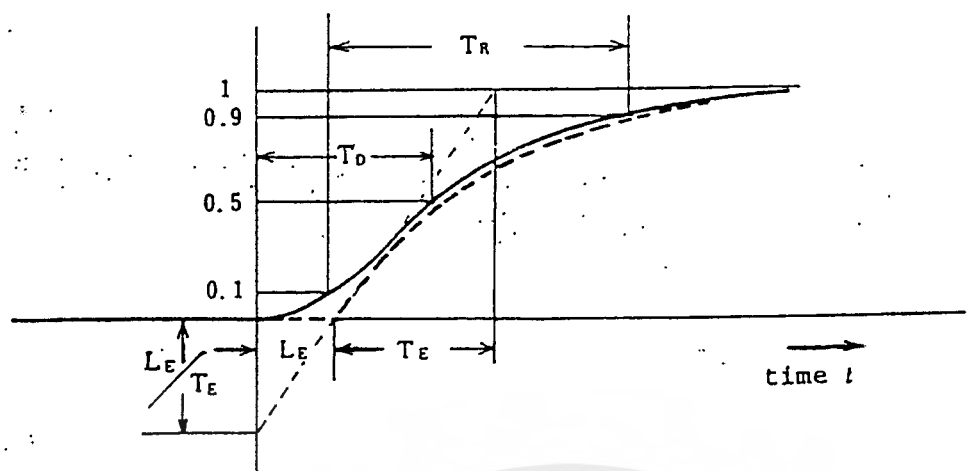


รูปที่ 3 แสดงผลตอบสนองของระบบอันดับที่ 1 กับสัญญาณขั้นบันได



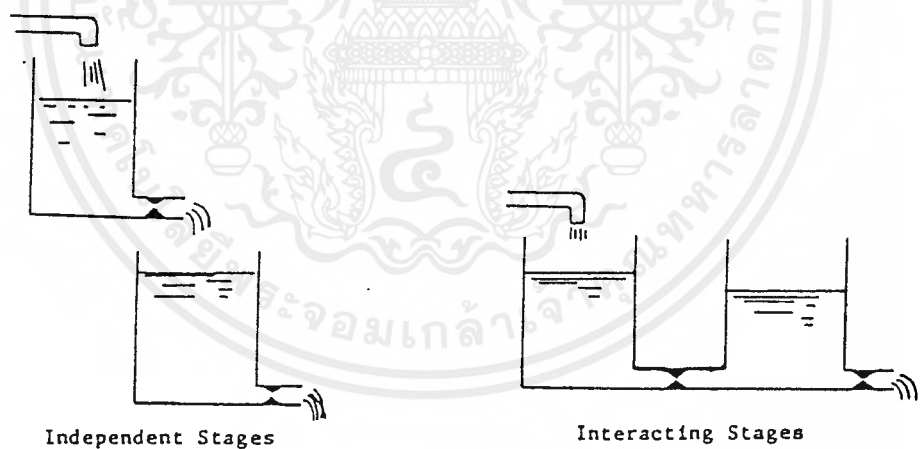
รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองของหน่วยที่ 1 กับสัญญาณเข้าแบบ Ramp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ระบบควบคุมแบบหลายอันดับ

Interaction in higher-order lag system



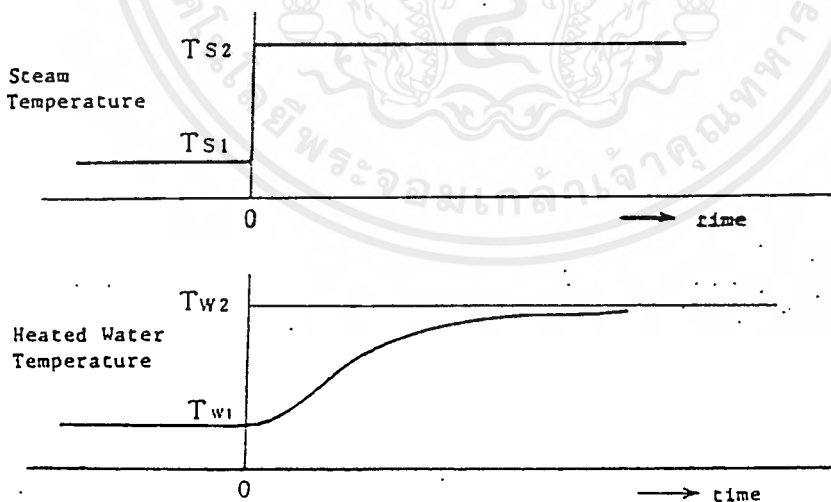
รูปที่ 6 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมหลายอันดับกับสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได 1 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	L_E	T_E	L_E/T_E
First-Order Lag System	0	T	0
Second-Order Lag System	$0.28 T$	$2.7 T$	0.103
Third-Order Lag System	$0.81 T$	$3.7 T$	0.218

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนของเวลาล้าหลังกับค่าเวลาคงที่ ซึ่งแต่ละอันดับไม่ขึ้นแก่กัน และมีค่าเวลาคงที่เท่ากัน

อัตราการขยายของกระบวนการ (Process Gain)



รูปที่ 6 ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของการแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\text{Process Gain : } K_p = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{T_{s2} - T_{s1}}$$

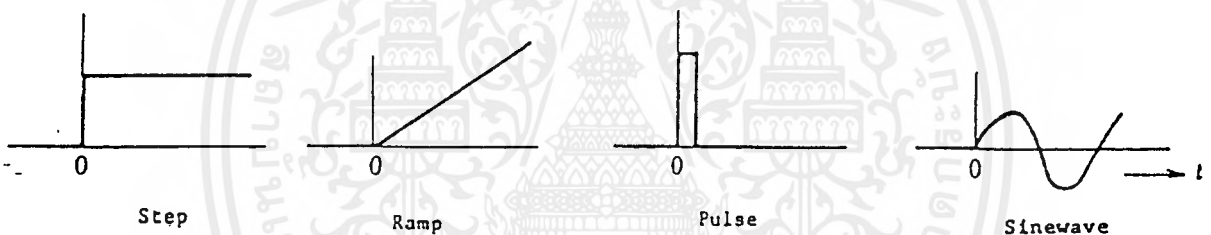
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งรบกวน (Disturbance)

สิ่งรบกวนเป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงขึ้นมาโดยไม่ต้องการและเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการ มีผลกระทบต่อค่าของตัวแปรควบคุม

ตัวอย่างของสิ่งรบกวนในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

1. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไอน้ำ
2. การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของไอน้ำ
3. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้าง
4. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำที่หล่อเย็น
5. การเปลี่ยนแปลงของภาระ (Load)

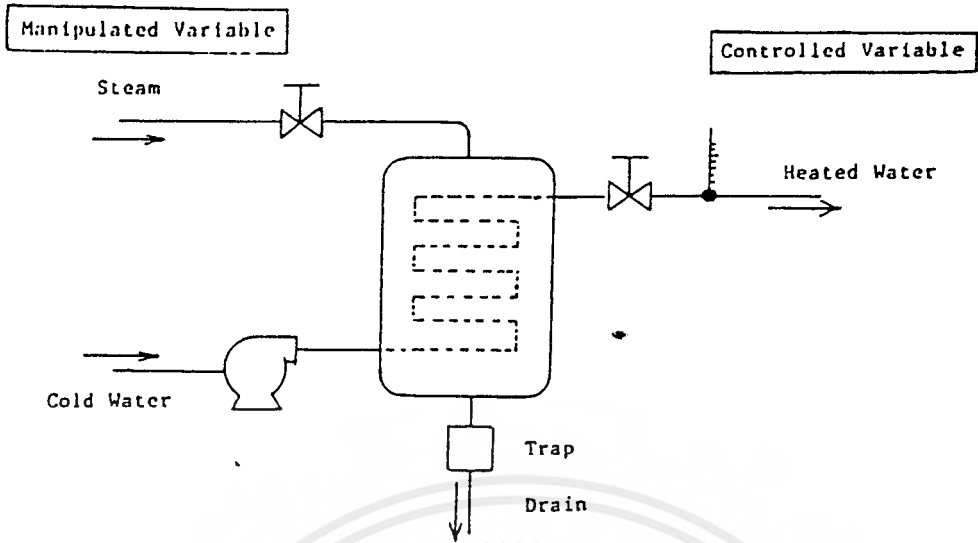


รูปที่ 7 แสดงสัญญาณเข้าแบบต่าง ๆ ของระบบควบคุม

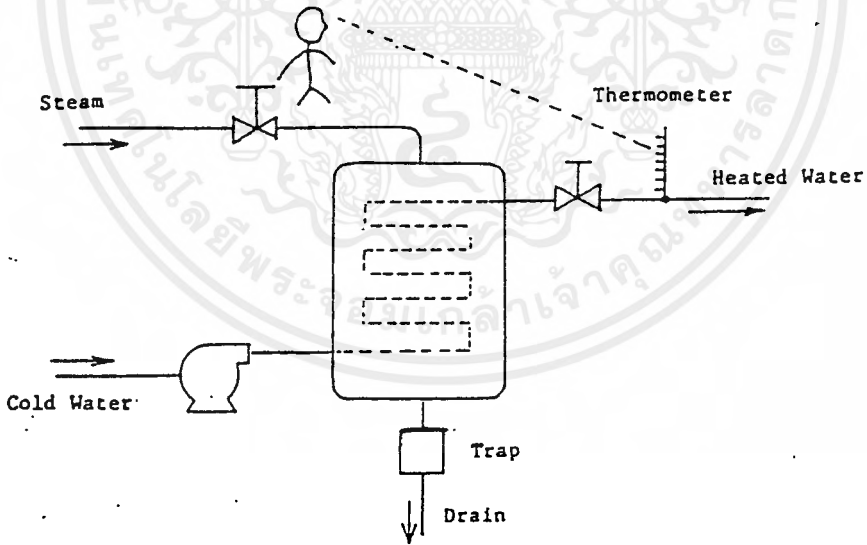
ตัวแปรใน Process Control

1. Controlled Variable : ตัวแปรที่ถูกควบคุมเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงของกระบวนการ ซึ่งจะถูกตรวจจับไปยังอุปกรณ์วัดในส่วนป้อนกลับ
2. Manipulated Variable : ตัวแปรที่ใช้ในการจัดการ เป็นปริมาณซึ่งเปลี่ยนแปลงตามฟังก์ชันของสัญญาณความผิดพลาดเป็นไปตามค่าของตัวแปรในการควบคุม
3. Desired Value : ค่าของตัวแปรควบคุมที่ต้องการหรือเลือก
4. Setpoint : ค่าเป้าหมาย เป็นตัวแปรขาเข้า ซึ่งได้ตั้งค่าที่ต้องการของตัวแปรควบคุม
5. Deviation : ค่าความแตกต่าง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าตัวแปรของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

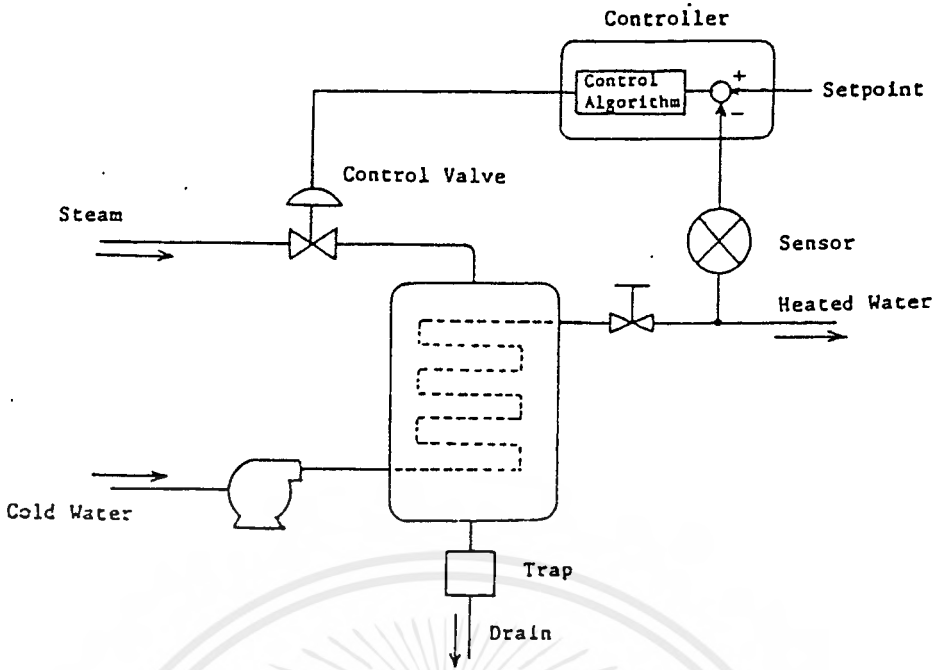


รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

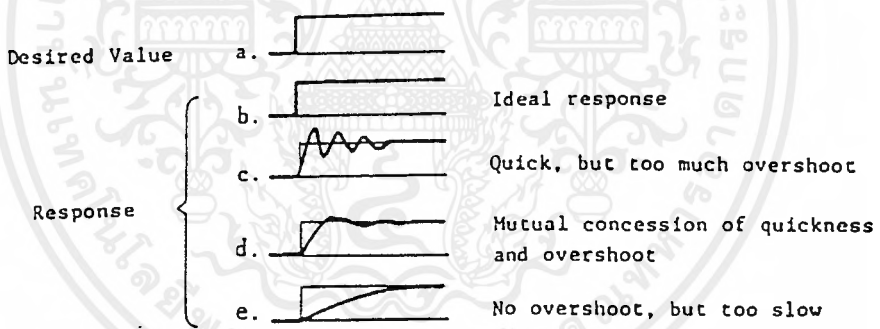


รูปที่ 9 แสดงระบบควบคุมแบบ Manual Control ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงการควบคุมแบบ Automatic Control ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 11 ผลตอบสนองของระบบในแบบต่าง ๆ

รูป a แสดงค่าที่ต้องการ

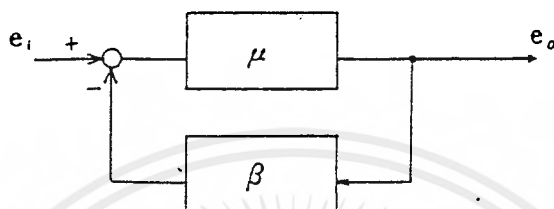
รูป b เป็นผลตอบสนองในทางอุดมคติ

รูป c แสดงผลตอบสนองที่เร็ว แต่มีค่า Overshoot มาก

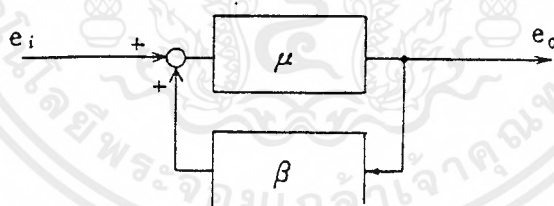
รูป d แสดงผลตอบสนองที่ค่อนข้างเร็ว และ Overshoot น้อย

รูป e แสดงผลตอบสนองที่ไม่มี Overshoot แต่เข้าสู่สภาวะคงที่ช้า

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 12 แสดงวงรอบการป้อนกลับแบบลบ



รูปที่ 13 แสดงวงรอบการป้อนกลับแบบบวก

อุปกรณ์วัดคุมสำหรับกระบวนการแบบอัตโนมัติ

อุปกรณ์วัดที่เป็นอุปกรณ์ที่รับค่าข้อมูลในรูปของปริมาณ ๗ หนึ่ง และเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลในรูปแบบที่อุปกรณ์วัดคุม (Instrument) สามารถเข้าใจได้

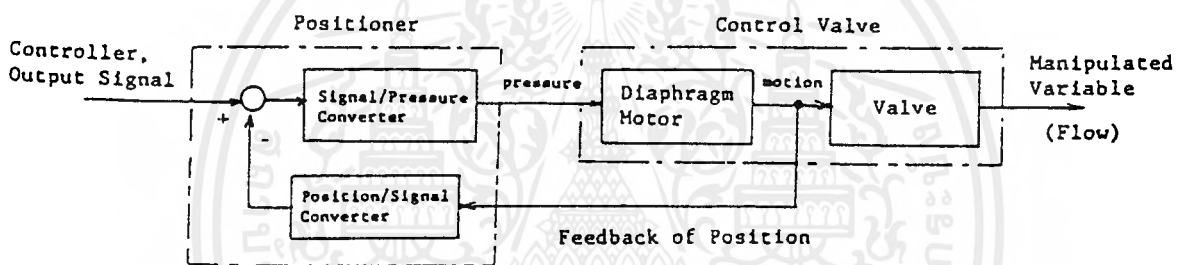
อุปกรณ์วัดประกอบด้วย 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์วัดลำดับแรก (Primary Device) เช่น Thermocouple, Resistance Bulb, Orifice Plate
- อุปกรณ์วัดลำดับที่สอง (Secondary Device) เช่น DP Transmitter, STED temperature converter

อุปกรณ์ควบคุมลำดับสุดท้าย (Final Control Element)

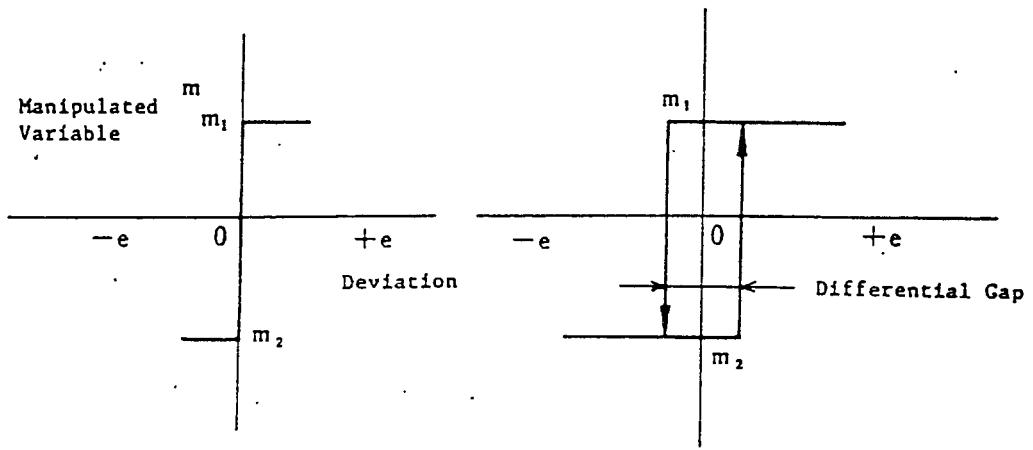
เป็นอุปกรณ์ควบคุมไปข้างหน้า ที่รับค่ามาจากตัวแปรจัดการเพื่อมาจัดการระบบ เช่น Control Valve และ Positioner, อุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยใช้ SCR



รูปที่ 14 แสดง Control Valve และ Positioner

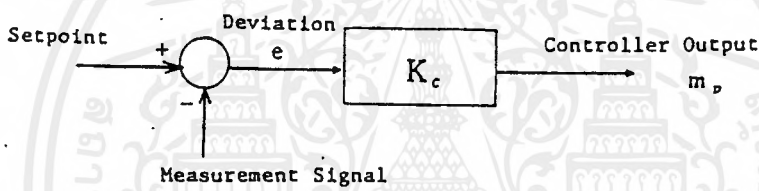
กิริยาควบคุม (Control Action)

1. การควบคุมแบบเปิด - ปิด (ON - OFF Control) เป็นการควบคุมที่ตัวแปรจัดการมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็ว เพื่อจะนำไปสู่ค่าที่มากที่สุดกับค่าที่น้อยที่สุด ที่ขึ้นกับตัวแปรควบคุม ซึ่งอาจมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเป้าหมาย



รูปที่ 15 แสดงการควบคุมแบบเปิด - ปิด

2. กิริยาควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action) เป็นกิริยาควบคุมซึ่งค่อนข้างจะสม่ำเสมอและเป็นเชิงเส้น ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอินพุต และเอาต์พุต



รูปที่ 16 กิริยาการควบคุมแบบสัดส่วน

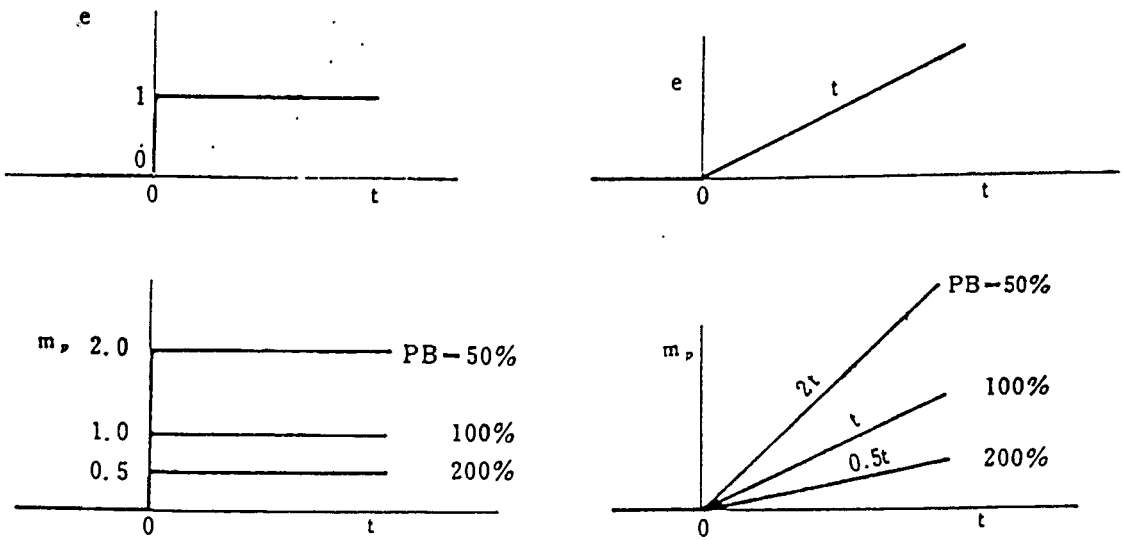
$$m_p = K_c e$$

$$PB = \frac{1}{K_c} \cdot 1000 (\%)$$

K_c : Proportional gain
PB : Proportional band

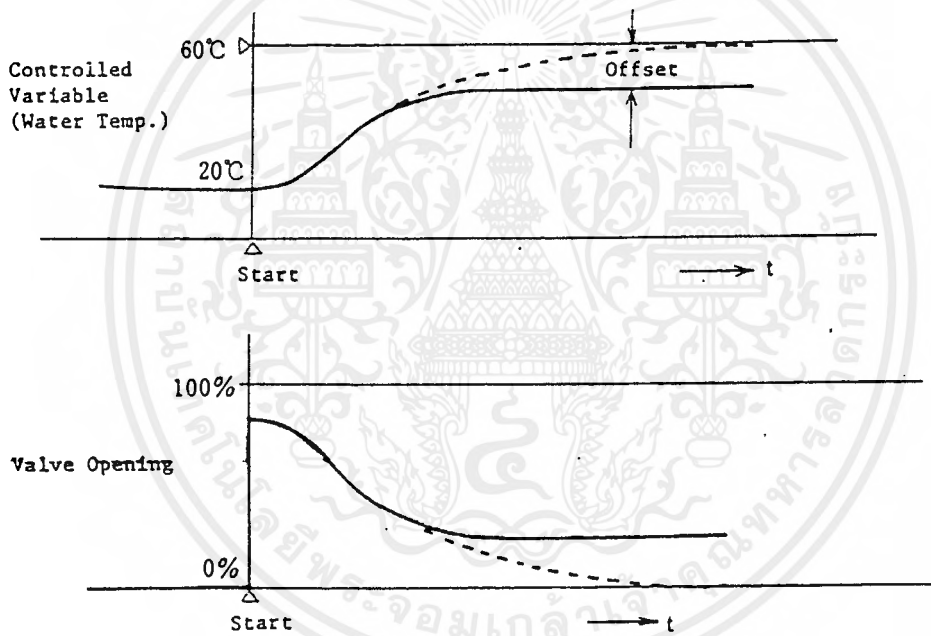
อัตราการขยายแบบสัดส่วน K_c เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุต ซึ่งสัมพันธ์กับกิริยาควบคุมเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุต

ช่วงการขยายแบบสัดส่วน (Proportional Band) เป็นการเปลี่ยนแปลงของอินพุต เพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตมากที่สุด ในกิริยาควบคุมแบบสัดส่วน



รูปที่ 17 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน

Offset เป็นค่าความแตกต่างของอินพุตและเอาต์พุตที่สภาวะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่



รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว

Offset สามารถลดได้โดย

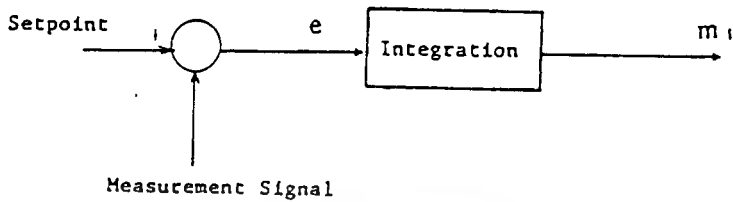
1. เพิ่มอัตราการขยายแบบสัดส่วน
2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สภาวะเริ่มต้น (m_0)

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

3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

กิริยาควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)

เป็นกิริยาควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต



รูปที่ 18 Integral Control Reaction

$$m_i = \frac{1}{T_i} \int e \, dt$$

$$m_i = \frac{1}{T_i} \int e \, dt + m_{i0}$$

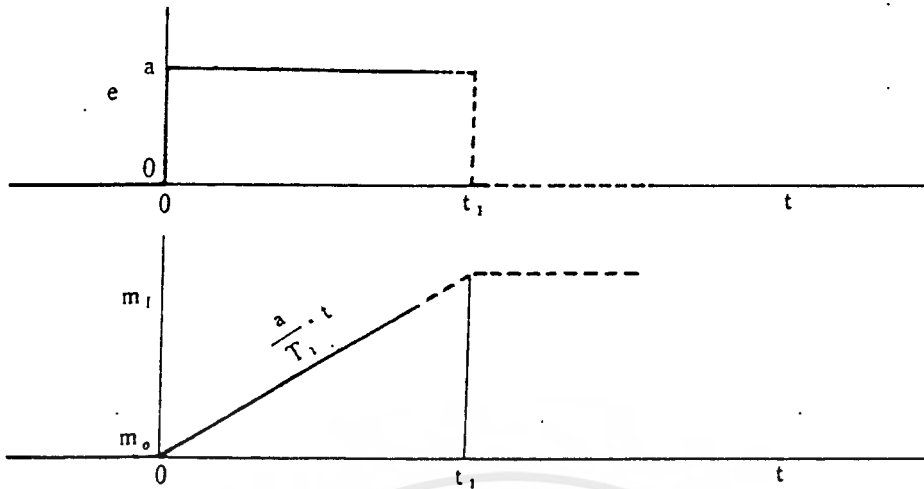
when $t = 0$, $m_i = m_{i0}$

T_i : Integral time

ในกิริยาควบคุมแบบอินทิกรัล ค่าตัวแปรจัดการ m_i จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด (Error) ดังนั้น ถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้นทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไปจากค่าที่ต้องการไป 2 ครั้งแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการความผิดพลาด 2 ครั้งโดยเร็ว เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายอุปกรณ์ควบคุมส่วนสุดท้ายจะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นในระบบที่มีกิริยา แบบอินทิกรัลด้วยจะไม่เกิดค่า Offset

ผลตอบแทนของชงกิริยาควบคุมแบบอินทิกรัล

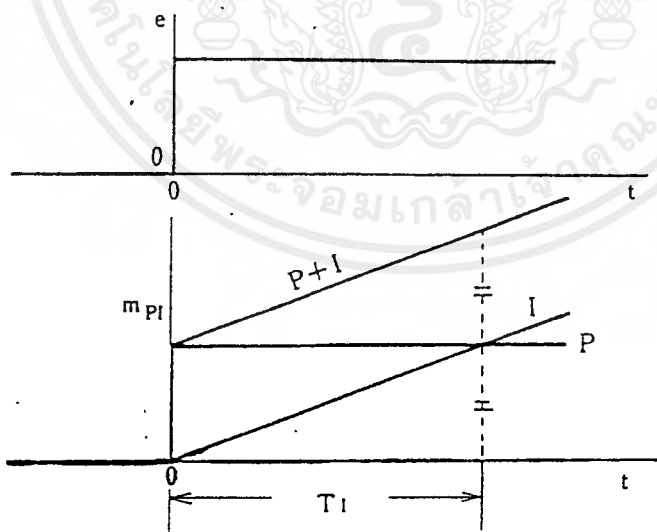
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แสดงผลตอบสนองของกิริยาอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได

กิริยาควบคุมแบบอินทิกรัล

เป็นกิริยาควบคุมที่ค่าเอาต์พุต เป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมของค่าอินพุตและค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต



รูปที่ 20 Integral Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

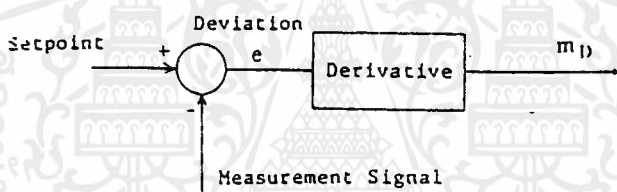
$$m_{PI} = K_C \left(e + \frac{1}{T_I} \int e dt \right)$$

$$m_P = K_C \left(e + m_0 \right)$$

ข้อได้เปรียบของการรวมชุดอินทิกรัลและชุดควบคุมแบบสัดส่วน คือ ชุดอินทิกรัลจะจำกัด offset ให้หมดไป

4. กิริยาควบคุมแบบ Derivative

เป็นกิริยาควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต

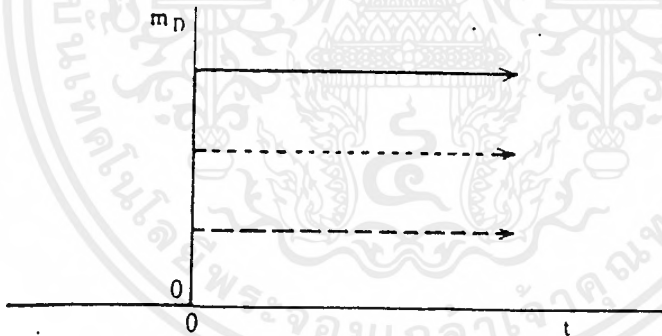


รูปที่ 21 Derivative Control Action

รูปที่ 22 แสดงผลตอบสนองแบบ Ramp ของกิริยาควบคุมแบบ Derivative

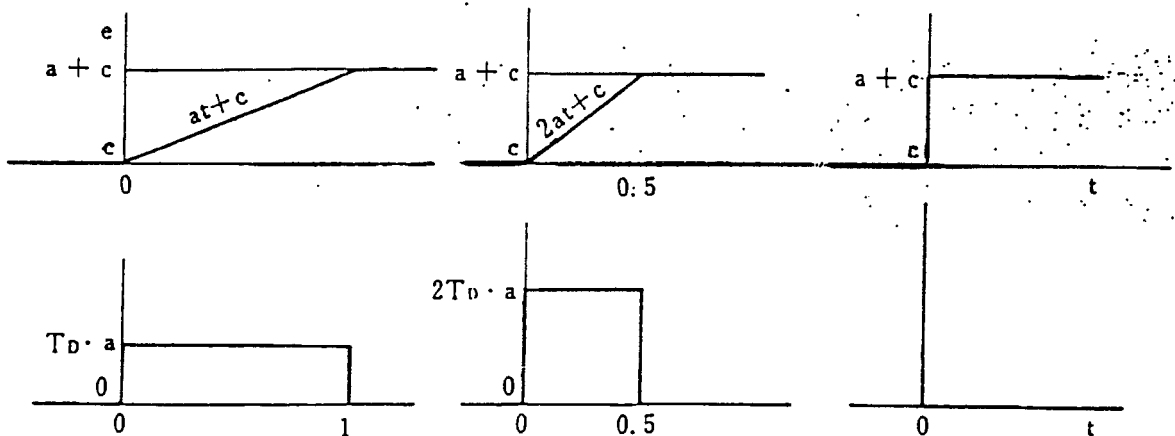
เมื่อเพิ่มกิริยาแบบ Derivative ไปในเครื่องควบคุมจะเป็นการบวกมุมนำในเครื่องควบคุม เพื่อชดเชยมุมตามใน Loop Transfer function ซึ่งขบวนการส่วนใหญ่จะมีค่ามุมเป็นแบบมุมตามใน Loop Transfer function

ผลตอบสนองของกิริยาควบคุมแบบ Derivative



รูปที่ 23 แสดงผลตอบสนองของกิริยาควบคุมแบบ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



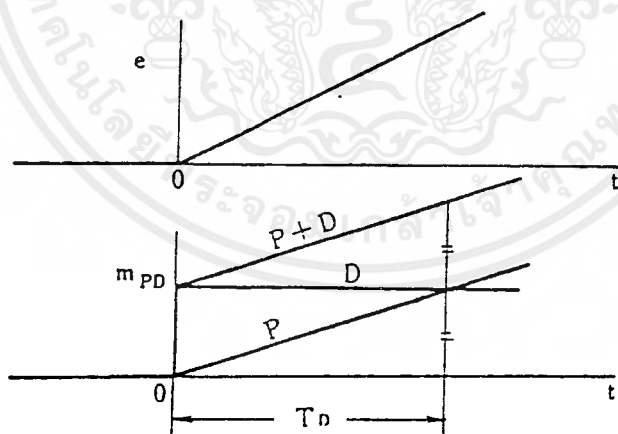
รูปที่ 24 แสดงผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของกิริยาควบคุมแบบ Derivative

กิริยาควบคุมแบบ PD

เป็นกิริยาควบคุม ซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุตกับผลคูณคาบเวลากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุต

$$m_{PD} = K_c (e + T_D \frac{de}{dt})$$

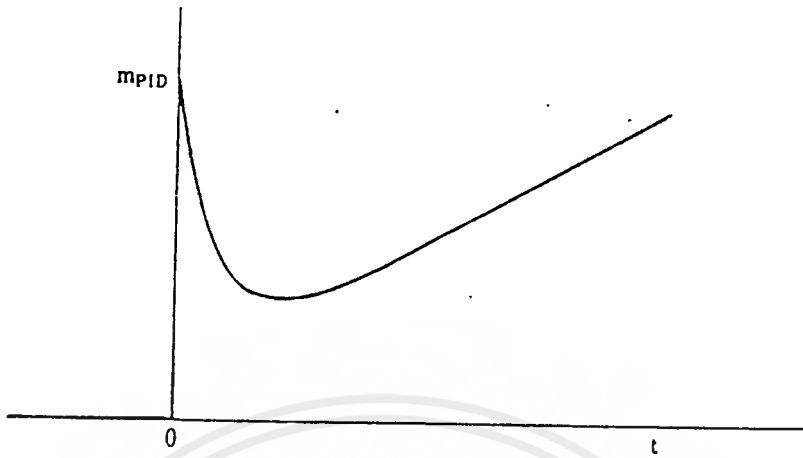
ข้อได้เปรียบในกิริยาควบคุมแบบ PD เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นแบบเชิงเส้น (Ramp) จะมีผลตอบสนองทางเวลาได้เปรียบกว่าการควบคุมแบบสัดส่วนเป็นอย่างเดียว



รูปที่ 25 Derivative Time

กิริยาควบคุมแบบ PID

เป็นกิริยาควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุตและค่าผลคูณของเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต



รูปที่ 26 ผลตอบสนองของปฏิกิริยาควบคุมแบบ PID กับสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได

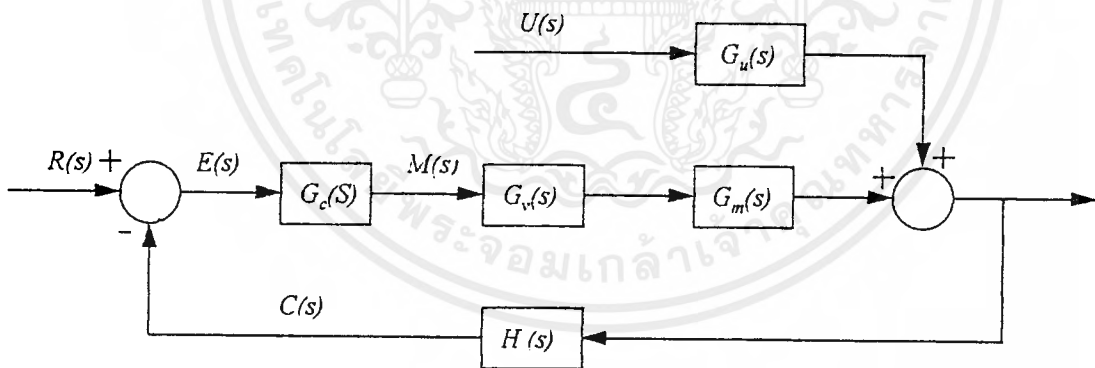
บทที่ 1

ขั้นตอนและวิธีการหาคุณลักษณะของกระบวนการ

1.1 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ ในการควบคุม แบบป้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อที่จะได้ผลตอบสนองแบบปิด (Close-loop Response) ตามที่ต้องการนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้าใจในองค์ประกอบของแต่ละกระบวนการ เนื่องจากการควบคุมที่ดี สำหรับกระบวนการหนึ่ง ๆ อาจจะไม่ใช้การควบคุมที่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับกระบวนการอื่น

คุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบเฉพาะของคุณลักษณะของกระบวนการขึ้นมา เพื่ออ้างอิงสำหรับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ การควบคุม

ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) สามารถใช้การลดรูปภายใน บล็อก - ไดอะแกรม (Block diagram) ของรูปการควบคุม ในการกำหนดรูปแบบเฉพาะ



รูปที่ 1.1 Block diagram of typical feedback control

$R(s)$ the Laplace transform ของค่าเป้าหมาย (setpoint)

$M(s)$ the Laplace transform ของสัญญาณควบคุมจากเครื่องควบคุม (controller)

$C(s)$ the Laplace transform ของสัญญาณขาออกของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (transmitter)

$E(s)$ the Laplace transform ของความคลาดเคลื่อน (error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U(s)$ the Laplace transform ของสัญญาณรบกวน (disturbance)

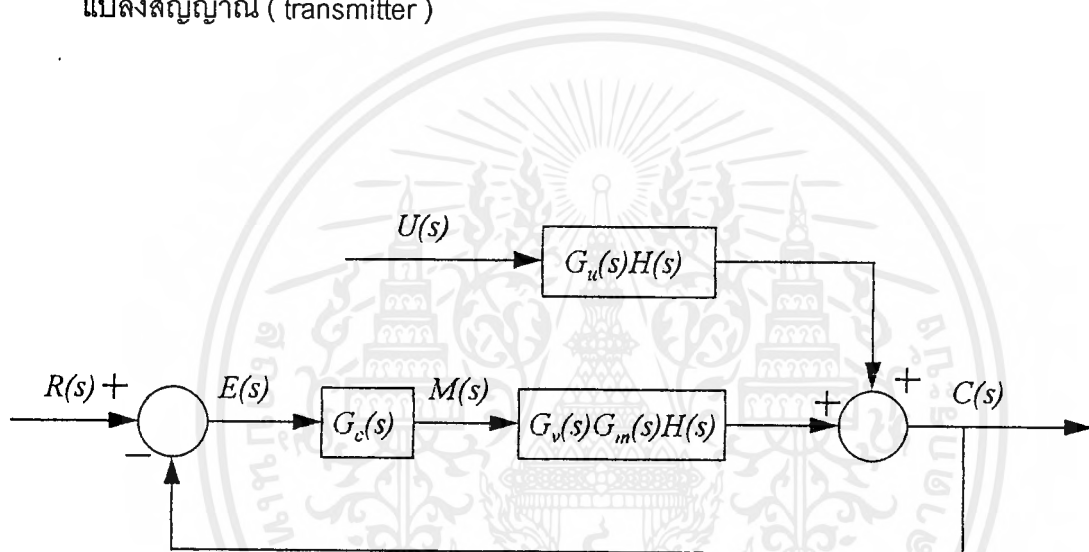
$G_c(s)$ transfer function ของ อุปกรณ์ควบคุม (controller)

$G_v(s)$ transfer function ของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (final control element)

$G_m(s)$ transfer function ระหว่าง เครื่องควบคุม (controller) และ ตัวแปรปรับกระบวนการ (manipulate variable)

$G_u(s)$ transfer function ระหว่าง ตัวแปรควบคุม (controller variable) และ สัญญาณรบกวน (disturbance)

$H(s)$ transfer function ของ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (sensor) และ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (transmitter)



รูปที่ 1.2 Equivalent simplified block diagram

จากทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน (Transfer function) โดยอนุมานให้เป็นรูปแบบ

Low order

คือ รูปแบบ First - order Plus Dead - time (FOPDT)

$$G(S) = K \frac{\exp(-t_d s)}{\tau s - 1}$$

สมการที่ 1.1

$$\tau s - 1$$

ภายใต้รูปแบบที่กำหนด คุณลักษณะของกระบวนการจะถูกจัดอยู่ในรูปแบบของ ตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่

- Process Gain (K)

- Dead time (t_d)

- Time constant (τ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแปลงสมการที่ 1.3 ให้อยู่ในรูปของ Time domain (Invert laplace transform)

$$\Delta C(t) = K \Delta m u(t-t_0) [1 - \exp(-(t-t_0)/\tau)] \quad \text{สมการที่ 1.4}$$

โดย $\Delta C(t) = C(t) - C(0)$ เป็นผลต่างของการตอบสนองจากกระบวนการ ตั้งแต่ที่เวลาเริ่มต้น

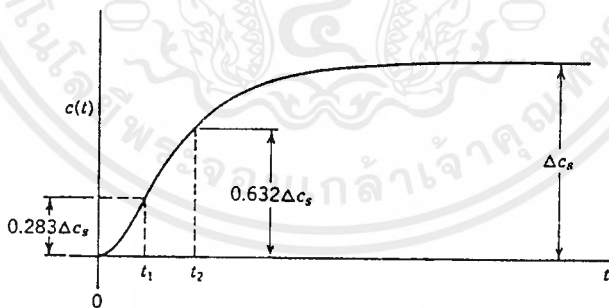
ฟังก์ชัน unit step $u(t-t_0)$ เป็นพจน์ที่กำหนดให้ $\Delta C(t) = 0$ ขณะที่ $t \leq t_0$ เมื่อผลการตอบสนองเข้าสู่ สภาวะคงที่ (steady state)

$$\Delta C_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta C(t) = K \Delta m \quad \text{สมการที่ 1.5}$$

จากผลของสมการสามารถหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain (K) ได้เป็นค่าแรก

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

ผลการตอบสนองจากกระบวนการที่ทำการบันทึกได้ (Reaction curve) สามารถพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบสนองกับค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่เหลือ ในลักษณะที่สัมพันธ์กับเวลา เป็นการประมาณค่า (Curve fitting)



รูปที่ 1.7 FOPDT Model Parameter by Curve Fitting

พิจารณาค่าที่เวลา $t = (t_0 + \tau/3)$ และ $t = (t_0 + \tau)$ แทนในสมการที่ 1.4

$$\Delta C(t_0 + \tau) = K \Delta m [1 - \exp(-1)] = 0.632 \Delta C_s$$

$$\Delta C(t_0 + \tau/3) = K \Delta m [1 - \exp(-1/3)] = 0.283 \Delta C_s$$

สมการที่ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่สามารถควบคุมการทดสอบแบบ Process step testing ค่าพจน์ Δm จะถูกควบคุม เช่น $\Delta m = 1$

$$\Delta C(t_0 + \tau) = 0.632 K = 0.632 \Delta C_s$$

$$\Delta C(t_0 + \tau/3) = 0.283 K = 0.283 \Delta C_s$$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain จะมีค่า $K = \Delta C_s$

นำมาสู่ข้อสมมติฐานที่ว่า เมื่อทราบค่า Process Gain จากการทดสอบและค่าสัญญาณควบคุมถูกควบคุมไว้

ที่ค่าผลการตอบสนองของกระบวนการเป็น 0.283 K เวลาในการทดสอบผ่านมาถึงเวลาที่ $t = t_0 + \tau/3$ ($0.283K = \Delta C(t + \tau/3)$)

ที่ค่าผลการตอบสนองของกระบวนการเป็น 0.632 K เวลาในการทดสอบผ่านมาถึงเวลาที่ $t = t_0 + \tau$ ($0.632K = \Delta C(t + \tau)$)

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Time constant (τ) ก็จะสามารถทราบได้

เนื่องจาก พจน์ $u(t - t_0)$ ในสมการที่ 2.4 เป็นการกำหนดให้ $\Delta C(t) = 0$ ขณะที่ $t \leq t_0$ ดังนั้นเมื่อค่าผลต่างของการตอบสนองจากกระบวนการไม่เป็น 0 ทำให้ทราบทันทีว่า ช่วงเวลาของคุณลักษณะของกระบวนการ Dead time (t_0) ผ่านไปแล้วสามารถได้ในลักษณะของการจับเวลา

1.3 แนวทาง ประยุกต์ การทดสอบกระบวนการ

การที่จะทราบค่าคุณลักษณะของกระบวนการ จากการทดสอบกระบวนการจริง โดยอาศัยแนวทางของการทดสอบแบบ Process step testing สามารถปรับเปลี่ยนการทดสอบให้อยู่ในรูปแบบที่ต่างกัน แต่ยังคงอยู่บนพื้นฐานของการทดสอบแบบไม่มีการป้อนกลับเช่นเดิม

การทดสอบแบบ Process step testing ค่าคุณลักษณะของกระบวนการจะสามารถทราบค่าต่อเมื่อได้

บันทึกผลการตอบสนองจากกระบวนการ (Reaction curve) ที่เกิดขึ้นของการเปลี่ยนสัญญาณควบคุม ($m(t)$) จนกระทั่งผลการตอบสนองเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) แล้วย้อนกลับมาใช้สมการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ ค่า Process Gain (K) รูปแบบการทดสอบที่สามารถนำมาปรับเปลี่ยนได้ คือ

การทำการทดสอบขณะที่กระบวนการอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) อยู่แล้ว

เมื่อทำการทดสอบแบบไม่มีการป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการจะสามารถอยู่ในสภาวะคงที่ได้เนื่องจากมีสัญญาณควบคุมที่คงที่ เช่น จากเครื่องควบคุม (Controller) ผลการตอบสนองที่สถานะนี้ย่อมเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุม ทำให้สามารถทราบค่าคุณลักษณะของกระบวนการ ค่า Process Gain (K) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุมให้ลดลง จะได้ผลการตอบสนองจากกระบวนการ (Reaction curve) จะลดลงตามเช่นกัน จากค่า Process Gain (K) ที่ทราบ และการที่สัญญาณควบคุมสามารถทำการจำกัดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในขอบเขตได้ ค่าคุณลักษณะของกระบวนการค่าอื่น ๆ

Dead time (t_0) Time constant (τ) ทราบได้จากการจับเวลาในขณะที่ผลการตอบสนองจากกระบวนการเปลี่ยนค่าไป

Dead time (t_0) = เวลาที่ผลตอบสนองยังอยู่ที่สภาวะคงที่ (Steady state) ภายหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม ($m(t)$ มีค่าลดลง)

Time constant (τ) = เวลาที่ผลตอบสนองมีค่าลดลงเป็นสัดส่วน 0.283 กับค่าผลตอบสนองทั้งหมด [$C(t+\tau) = K\Delta m(1-0.632)$]

หรือ รูปแบบการทดสอบที่ใช้ขั้นตอนตามการทดสอบแบบ Process step testing (ปรับค่าสัญญาณ $m(t)$ เพิ่มขึ้น) โดยทำการบันทึกผลการตอบสนองจากกระบวนการภายในช่วงเวลาที่แน่นอน การกระทำเช่นนี้ จะสามารถหาค่าความชันสูงสุด อนุมานจากการประมาณค่าผลตอบสนองจากกระบวนการ (Curve fitting) ว่าเป็นจุดที่ค่าเวลาในการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองเท่ากับค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Time constant (τ) และด้วยค่า Time constant (τ) นี้ ทำให้สามารถแปรค่ากลับให้เป็นค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain (K) โดยสมการที่ 1.6

$$\begin{aligned} \frac{\Delta C(t_0+t)}{K} &= \frac{0.632\Delta C_s}{0.632\Delta m} = 0.632 K\Delta m \\ &= \frac{\Delta C(t_0+t)}{0.632\Delta m} \quad \text{สมการที่ 1.7} \end{aligned}$$

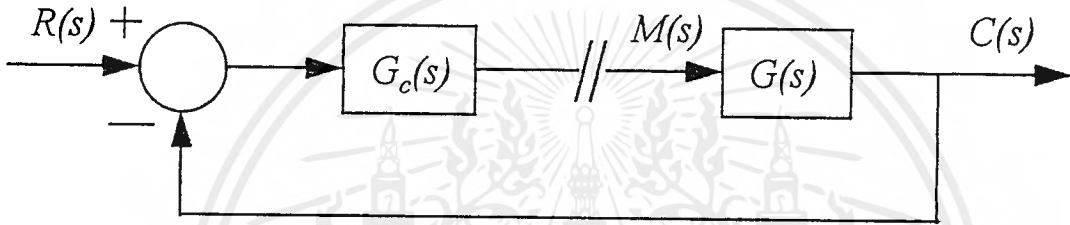
พจน์ $\Delta C(t_0+t)$ คือ ผลตอบสนองจากกระบวนการที่ทำให้ความชันมีค่าสูงสุด

การทดสอบกระบวนการ (Process testing) ที่กล่าวมาในบทนี้ ต่างก็มีข้อจำกัดในส่วนของเวลาที่ใช้ในการทำการทดสอบ ที่ต้องรอคอยจนกระทั่งผลการตอบสนองจากกระบวนการผ่านจุดของค่า Time constant (τ) จึงสามารถทราบค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain (K) ได้

การได้มาซึ่งค่าคุณลักษณะของกระบวนการ ทั้ง 3 ค่านี้ จำเป็นต้องกระทำการทดสอบกระบวนการจริงที่ต้องการควบคุม หรือ ทำการจำลองขึ้นจากคอมพิวเตอร์

1.2 การทดสอบกระบวนการ (Process testing)

เนื่องจาก ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ เป็นเพียงค่าของตัวกระบวนการเท่านั้น ไม่ใช่ของทั้งลูปรูการควบคุม (Control loop) จึงทำการทดสอบเฉพาะส่วนของตัวกระบวนการ คือ เป็นการทดสอบแบบไม่มีการป้อนกลับ หรือลูปรูเปิด (Open loop) ผลของสิ่งรบกวนของกระบวนการ (Process - Disturbance) สามารถยกเว้นไม่พิจารณาในการทดสอบได้ การทดสอบกระบวนการจริงวิธีหนึ่งที่กระทำได้ง่าย คือ การทดสอบแบบ Process step testing

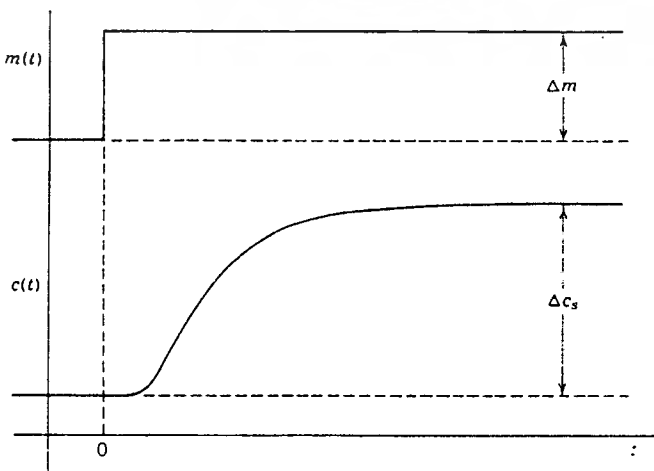


รูปที่ 1. 3 Block diagram for open loop step test

ขั้นตอนของการทดสอบแบบ Process step testing นี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณการควบคุมอย่างทันทีทันใด จากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง (Step Test) เพื่อสังเกตผลการตอบสนองจากกระบวนการที่ทำการบันทึกได้ (Reaction curve)

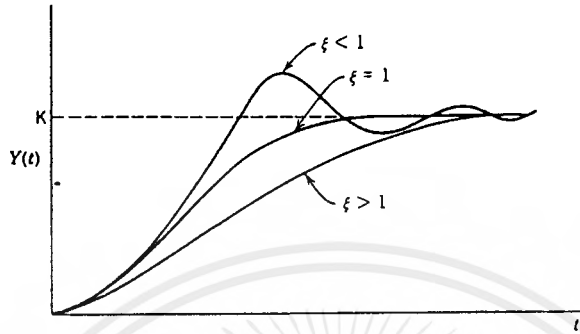
$m(t)$ = ค่าสัญญาณการควบคุมที่เวลาต่าง ๆ

$c(t)$ = ผลการตอบสนองจากกระบวนการที่เวลาต่าง ๆ

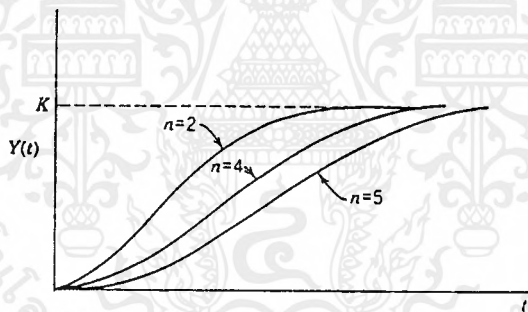


รูปที่ 1.4 Process reaction curve or open-loop step response

ผลตอบสนองจากกระบวนการในรูปแบบ S - shape response จะครอบคลุมถึง Second-order process (damping ratio = 1 หรือ > 1) และ Higher - order process ซึ่งมีหรือไม่มี dead time ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ กัน



รูปที่ 1.5.1 Response of second-order system to a unit step change in forcing function



รูปที่ 1.5.2 Response of overdamped higher-order system to a unit step change in forcing function

จาก Block Diagram

$$c(s) = G(s) M(s) \tag{สมการที่ 1.2}$$

และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุม Δm ผลการตอบสนองจากกระบวนการ ที่ได้เมื่อนำมาตีความค่าคุณลักษณะของกระบวนการตามรูปแบบ First order plus dead time

$$C(s) = \frac{K \exp(-t_0 s) \Delta m}{\tau s + 1} \tag{ในรูปแบบของ Laplace transform}$$

$$= K \Delta m \exp(-t_0 s) \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \tag{สมการที่ 1.3}$$

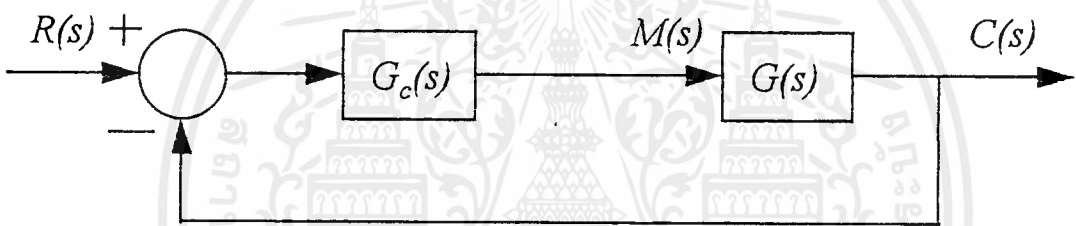
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม

ในบทที่ 1 กล่าวถึงการได้มาของค่าคุณลักษณะของกระบวนการ เนื้อหาภายในบทนี้จะนำค่าคุณลักษณะมาทำการสังเคราะห์ ให้เป็นพารามิเตอร์ในการควบคุม PI หรือ PID

การทดสอบกระบวนการดังที่กล่าวมาแล้ว เป็นการกระทำลักษณะรูปเปิด (Open loop) ซึ่งต่างจากการสังเคราะห์ พารามิเตอร์ที่ทำการพิจารณาในลักษณะรูปปิด (Close loop) กระบวนการที่ต้องการควบคุม จะอยู่ภายใต้รูปการควบคุมนี้



รูปที่ 2.1 Simplified block diagram for controller synthesis

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s) G(s)}{1 + G_c(s) G(s)} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

$G(s)$ = ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ของกระบวนการ

$G_c(s)$ = ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ของเครื่องควบคุม

สมการที่ 2.1 แปลงเป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของเครื่องควบคุม ได้คือ

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

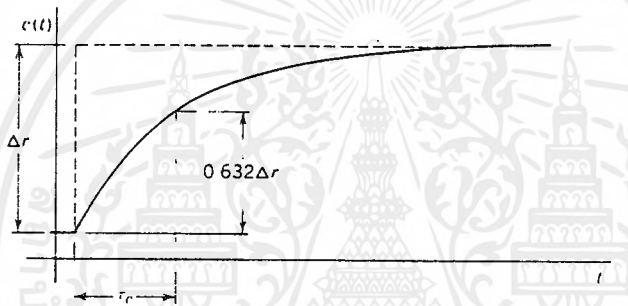
ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันนี้จัดได้ว่าเป็นสูตรสังเคราะห์เครื่องควบคุม

2.1 เป้าหมายของการควบคุมกระบวนการ

ในกระบวนการหนึ่ง ๆ ผู้ควบคุม ย่อมต้องการให้กระบวนการมีการตอบสนองแบบปิด (Close loop response) ต่อการควบคุมตามความต้องการที่จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากกระบวนการได้ ผลการตอบสนองแบบปิดของระบบควบคุมที่สามารถเข้าใกล้ความต้องการของผู้ควบคุมได้มากที่สุดคือ ระบบการควบคุมที่มีผลการตอบสนองเป็น First order lag ซึ่งมี ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันรูปปิด (Close loop transfer function) เป็นดังสมการ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

τ_c คือ Time constant ของผลการตอบสนองแบบปิด



รูปที่ 2.2 First order lag specification for close loop response of synthesize controller

τ_c เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ยิ่งมีค่าสั้นผลตอบสนองก็จะเข้าใกล้ผลตอบสนองทางอุดมคติมากขึ้น การปรับพารามิเตอร์เครื่องควบคุมก็จะยากขึ้นด้วยเมื่อนำสมการที่ 2.2 แทนลงในสูตรสังเคราะห์เครื่องควบคุม

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{1}{G(s)} \frac{1}{\tau_c s + 1} \\ &= \frac{1}{1 - \tau_c s + 1} \\ &= \frac{1}{G(s)} \frac{1}{\tau_c s} \end{aligned} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

เห็นได้ว่า มีพจน์การอินทิเกรตอยู่ในทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยไม่มีค่า offset

2.2 การควบคุมกระบวนการที่มีผลตอบสนองแบบ First order plus dead time

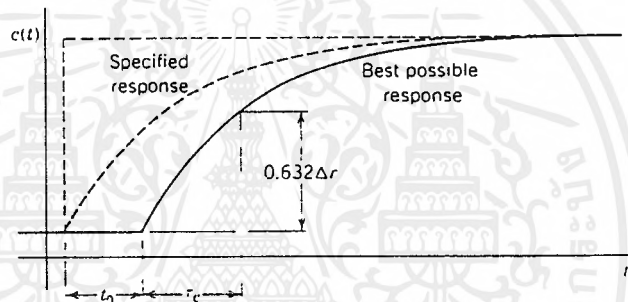
$$G(s) = \frac{K \exp(-t_0 s)}{\tau s + 1} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

นำมาแทนในสูตรสังเคราะห์เครื่องควบคุม

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

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K \tau_c} \left[1 + \frac{1}{\tau s} \right] \exp(t_0 s)$$

พจน์ t_0 ซึ่งเป็น Process Dead time พบว่ามีค่าเป็นลบซึ่งส่งผลให้สมการนี้ไม่อาจเป็นจริงได้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่น โดยมาพิจารณาเทียบกับผลการตอบสนองที่ล่าช้าลงเป็นเวลาเท่ากับ Process Dead time



รูปที่ 2.3 Specification for close loop response system with dead time t_0

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\exp(-t_0 s)}{\tau_c s + 1}$$

$$\text{หา } \tau_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K \exp(t_0 s)} \frac{\exp(-t_0 s)}{\tau_c s + 1 - \exp(-t_0)}$$

ค่า $\exp(-t_0 s)$ อาศัยการประมาณโดยอนุกรมเทย์เลอร์

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

แล้วนำไปแทนโดยพิจารณาแค่ 2 เทอมแรก

$$\exp(-t_0 s) = 1 - t_0 s$$

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= \frac{\tau s + 1}{K} \frac{1}{(\tau_c + t_0)s} \\
 &= \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \left[\frac{1 + 1/\tau s}{\tau s} \right]
 \end{aligned}$$

สมการที่ 2.5

ซึ่งเราจะได้เป็น PI Controller

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

สามารถหาค่าสูงสุดของ Controller Gain ได้จาก

$$K_{cMAX} = \lim_{\tau_c \rightarrow 0} \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} = \frac{\tau}{K t_0}$$

จากการที่พิจารณาคูณลักษณะของกระบวนการ แบบ First - order plus dead time จะเห็นว่า เมื่อนำมาพิจารณาหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $G_c(s)$ จะได้เป็นเครื่องควบคุมแบบ PI เท่านั้น

แต่จากการวิเคราะห์การควบคุม ตาม ผลตอบสนองลูปปิด ของ Dahlin โดยเลือก $G(s) = \frac{K \exp(-t_0 s)}{\tau s + 1}$

สามารถ ทำให้เป็น PID Controller โดยคุณลักษณะของกระบวนการต่างๆ เป็นดังนี้

$$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_c)}$$

$$\tau_I = \tau$$

$$\tau_D = t_0/2$$

กระบวนการที่จะใช้การควบคุมใน mode PID ได้ ควรมีค่า t_0 มากกว่า $\tau/4$ ในกรณีนอกเหนือจากนี้ ควรใช้การควบคุม ในโหมด แบบ PI

จะเห็นว่าพารามิเตอร์ K_c เป็นพารามิเตอร์เดียว ที่สามารถปรับค่าได้ โดยการเปลี่ยนค่า τ_c ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้เราเลือกรูปแบบการควบคุม ได้ว่าจะเป็นแบบ

1. Minimum IAE สำหรับ disturbance input $\tau_c = 0$ พิจารณาเป็น PI ที่ t_0/τ อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.5

PID ที่ t_0/τ อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.5

PI ($\tau_c = 0$) $\tau_c = 2 t_0/3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{PID} \quad \tau_c = t_d/5$$

2. 5% Overshoot ให้ผลตอบสนองจากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายมี overshoot ได้ไม่เกิน 5%

แนะนำให้ใช้ $\tau_c = t_d$

โครงการนี้สามารถให้ค่าพารามิเตอร์ PID ได้ทั้ง 2 รูปแบบ ดังกล่าว

และมีข้อแนะนำว่าถ้าค่า t_d มีค่ามากกว่า τ ผลการควบคุม จะผิดพลาดไปมากขึ้นไม่แนะนำให้ควบคุม ด้วย PID

สำหรับพารามิเตอร์ในการควบคุมที่ทำการสังเคราะห์จากค่าคุณลักษณะที่ได้สามารถสรุปเป็นดังตาราง

ตารางที่ 2.1 โหมดการควบคุมและสูตรการหาค่าพารามิเตอร์ของการสังเคราะห์ แบบ Dahlin

Process	Controller	Tuning Parameter	
$G(s) = K$	I	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$	tunable
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PI	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}$ $\tau_i = \tau$	tunable
$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	PID	$K_c = \frac{\tau_1}{K\tau_c}$	tunable
$\tau_1 > \tau_2$		$\tau_i = \tau_1$ $\tau_d = \tau_2$	
$G(s) = \frac{K \exp(-t_d s)}{\tau s + 1}$	PID ^a	$K_c = \frac{\tau}{K(t_d + \tau_c)}$ $\tau_i = \tau$ $\tau_d = t_d/2$	tunable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แนวทางการแก้ไขข้อจำกัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์

เนื่องจากการทดสอบในบทก่อน ๆ นั้น จำเป็นต้องรอให้กระบวนการที่ทดสอบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ซึ่งในบทนี้ได้เสนอแนวทางในการหาค่าพารามิเตอร์ได้โดยไม่ต้องใช้เวลาดังกล่าว

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ มองกระบวนการ (Process) ให้อยู่ในรูปของระบบ First order plus dead time

1. ขั้นตอนในการเริ่มต้นหาค่า PID

1. เปลี่ยนโหมดการควบคุมของเครื่องควบคุมให้อยู่ในโหมด Manual
2. ป้อนสัญญาณตัวแปรปรับกระบวนการ (MV.) เข้าสู่กระบวนการแบบขั้นบันได ขนาด 2 โวลต์ หรือ 12 มิลลิแอมป์ครึ่งที่ แล้วนำผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้มาเข้าเครื่องหาค่า PID (PID Auto Tuning) เพื่อให้เครื่องประมวลผลและแสดงค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม (PID) ที่เหมาะสมของกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย (Set point) นั้น ๆ โดยในกระบวนการหนึ่ง ๆ และค่าเป้าหมายที่ค่าหนึ่ง ๆ จะมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่หาได้จะไม่เหมาะสมกับค่าเป้าหมายอื่น ๆ แม้ในกระบวนการเดียวกันก็ตาม

2. ขั้นตอนในการหาค่าพารามิเตอร์ (PID)

เนื่องจากมองกระบวนการเป็นแบบ First order plus dead time ดังสมการ

$$\Delta C(t) = K\Delta m (1 - \exp(-(t - t_0)/\tau)) \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

Δm คือค่าความแตกต่างของสัญญาณที่ป้อนเข้ากระบวนการ กับสัญญาณ 1 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าสัญญาณมาตรฐานในการวัด โดย 1 โวลต์ แทนค่าต่ำที่สุดในช่วงของการวัดใด ๆ

K คืออัตราขยายของกระบวนการ

τ คือค่า Time constant ของกระบวนการ

t_0 คือค่า Dead time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta C(t)$ คือผลต่างของผลตอบสนองของกระบวนการกับค่าผลตอบสนองเริ่มต้น

จากสมการที่ 1 นำมาจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\tau = \frac{-(t - t_0)}{\ln(1 - \Delta C(t) / K \Delta m)} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อป้อนสัญญาณขั้นบันไดเข้าสู่กระบวนการ แล้วกระบวนการเริ่มตอบสนองออกมา ทำการสุ่มค่าผลตอบสนองของสัญญาณเป็น t_1 และ t_2 ตามลำดับ และในการป้อนสัญญาณขั้นบันไดเข้ากระบวนการเลือกค่าที่สัญญาณที่ระดับ 2 โวลต์ ซึ่งจะแตกต่างจากสัญญาณมาตรฐานต่ำสุด 1 โวลต์ เป็น 1 โวลต์ ดังนั้นค่า Δm จะมีขนาดเท่ากับ 1 หน่วย

ดังนั้นที่เวลา t_1 ได้ว่า $\tau = \frac{-(t_1 - t_0)}{\ln(1 - \Delta C_1 / K)}$ สมการที่ 3.3

ที่เวลา t_2 ได้ว่า $\tau = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln(1 - \Delta C_2 / K)}$ สมการที่ 3.4

เนื่องจาก τ เป็นค่า Time constant ของระบบเดียวกัน ดังนั้นจึงทำให้สมการที่ 3.3 เท่ากับ สมการที่ 3.4

ได้ว่า $\frac{-(t_1 - t_0)}{\ln(1 - \Delta C_1 / K)} = \frac{-(t_2 - t_0)}{\ln(1 - \Delta C_2 / K)}$ สมการที่ 3.5

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$(1 - \Delta C_2 / K)^{(t_1 - t_0)} = (1 - \Delta C_1 / K)^{(t_2 - t_0)} \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

ถ้าให้ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ

และให้ช่วงเวลาในการสุ่มข้อมูล (Sampling) $t_1 = \frac{(n+1)t_0}{n}$

และ $t_2 = \frac{(n+2)t_0}{n}$

นำ t_1 และ t_2 ไปแทนในสมการที่ 3.6

ได้ว่า $(1 - \Delta C_2 / K)^{((n+1)t_0/n - t_0)} = (1 - \Delta C_1 / K)^{((n+2)t_0/n - t_0)}$

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

$$= 1 - 2(\Delta C1/K) + (\Delta C1/K)^2$$

$$\text{จัดรูปสมการจะได้เป็น} \quad K = \frac{\Delta C1^2}{(2\Delta C1) - \Delta C2}$$

$$\text{จากสมการที่ 3.2} \quad \tau = \frac{-(t - t_0)}{\ln(1 - \Delta C(t)/K\Delta m)} \quad \Delta m = 1$$

ในการหาค่าพารามิเตอร์ PID โดยการป้อนสัญญาณขั้นบันไดเพื่อทดสอบระบบนี้ ค่า PID จะมีค่าดังนี้

$$P = (5/6) (\tau/Kt_0)$$

$$I = \tau$$

$$D = t_0/2$$

3. จากขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมด ไปสู่การเขียนโปรแกรมลงสู่หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้ต่อวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อรับค่าเข้าสัญญาณมาประมวลหาค่า PID ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เริ่มแรกจะป้อนสัญญาณ Step test (Δm) ขนาด 2 โวลต์ ซึ่งเป็นสัญญาณขั้นบันไดเข้าไปในกระบวนการที่โหมดการควบคุมเป็นโหมด Manual แล้ว ช่วงแรกกระบวนการจะยังไม่ตอบสนองกับสัญญาณ ที่ป้อนเข้าช่วงเวลาที่กระบวนการยังไม่ตอบสนองต่อสัญญาณเข้านี้เรียกว่า Dead time ซึ่งต้องวัดค่า Dead time นี้เพื่อไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการหาค่า PID ต่อไป โดยการนำผลตอบสนองของกระบวนการมาเข้าวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ที่ปรับความละเอียดเป็น 0.01 โวลต์ ต่อ Step สามารถวัดสัญญาณได้ในช่วง 0 ถึง 2.60 โวลต์ แล้วตั้งค่า Timer2 เพื่อตรวจจับค่า Dead time เก็บไว้ในหน่วยความจำ

2. นำค่า Dead time ที่จับได้ มาหารด้วยจำนวนเต็มบวก (n) ในที่นี้ใช้ $n = 3$ เพื่อจะได้ค่าเวลาในการสุ่ม t_1, t_2 เพื่อไปสุ่ม $\Delta C1, \Delta C2$ ในตอนแรกจะสุ่ม $\Delta C1$ มาก่อน ถ้า $\Delta C1$ น้อยกว่า 0.3 โวลต์ จะยังไม่เก็บข้อมูลแต่จะรออีกที่ช่วงเวลาเดิมแล้วสุ่มสัญญาณเข้ามา ถ้ายังน้อยกว่า 0.3 โวลต์ รอและสุ่มไปเรื่อย ๆ

การที่ให้ $\Delta C1 > 0.3$ โวลต์เพื่อให้ค่าความผิดพลาดจากวงจรแปลงสัญญาณ
อะนาลอกเป็นดิจิตอล มีค่าน้อยกว่า 3.3%

3. นำค่า $\Delta C1, \Delta C2$ ไปคำนวณหาค่า τ, K ของกระบวนการเพื่อนำไปคำนวณ
PID ต่อไป ในการคำนวณค่า τ จะต้องมีค่า \ln จากการคำนวณที่
ระบบแบบ First order plus dead time จะมีค่า \ln ไม่เกิน $\ln 0.63$ ก็จะทำให้การ
เก็บข้อมูลค่า \ln ที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ $\ln 0.01$ จนถึง $\ln 0.67$ ซึ่งเป็นค่าที่เผื่อไว้
โดยจะเก็บค่า \ln ไว้ในตาราง เมื่อต้องการคำนวณที่ค่า \ln ใด ๆ ให้ใส่ค่านั้น ๆ
แล้วโปรแกรม จะนำข้อมูลมาใช้

4. นำค่าพารามิเตอร์ PID ที่คำนวณได้มาแสดงผล



บทที่ 4

รายละเอียดโปรแกรมการใช้งาน, ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง และการทดลอง

ใช้ภาษา Assembly สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 ในการเขียน

โดยแบ่งโปรแกรมออกเป็น 8 ส่วน ได้แก่

1. โปรแกรมหลัก
2. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 1 คือ ขั้นตอนแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD (Liquid crystal display)
3. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 2 คือ ขั้นตอนการจับเวลา
4. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 3 คือ ขั้นตอนแปลงค่าสัญญาณขาเข้าแบบอะนาล็อก (Analog Input) ที่ได้รับจากพอร์ต 1 (port 1) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital)
5. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 4 คือ ขั้นตอนตรวจสอบ การเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady - state) ของกระบวนการ
6. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 5 คือ ขั้นตอนคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ ได้แก่ Process Gain (K) Time constant (τ) และ Dead time (t_0)
7. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 6 คือ ขั้นตอนการเลือกโหมดในการตรวจ และ คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ควรใช้ในการปรับค่า ได้แก่ K, τ , t_0
8. โปรแกรมย่อยส่วนที่ 7 คือ ขั้นตอนประมวลผล ทาง คณิตศาสตร์ ได้แก่ การบวก ลบ คูณ และหาร เลขฐาน 2 หลายบิต

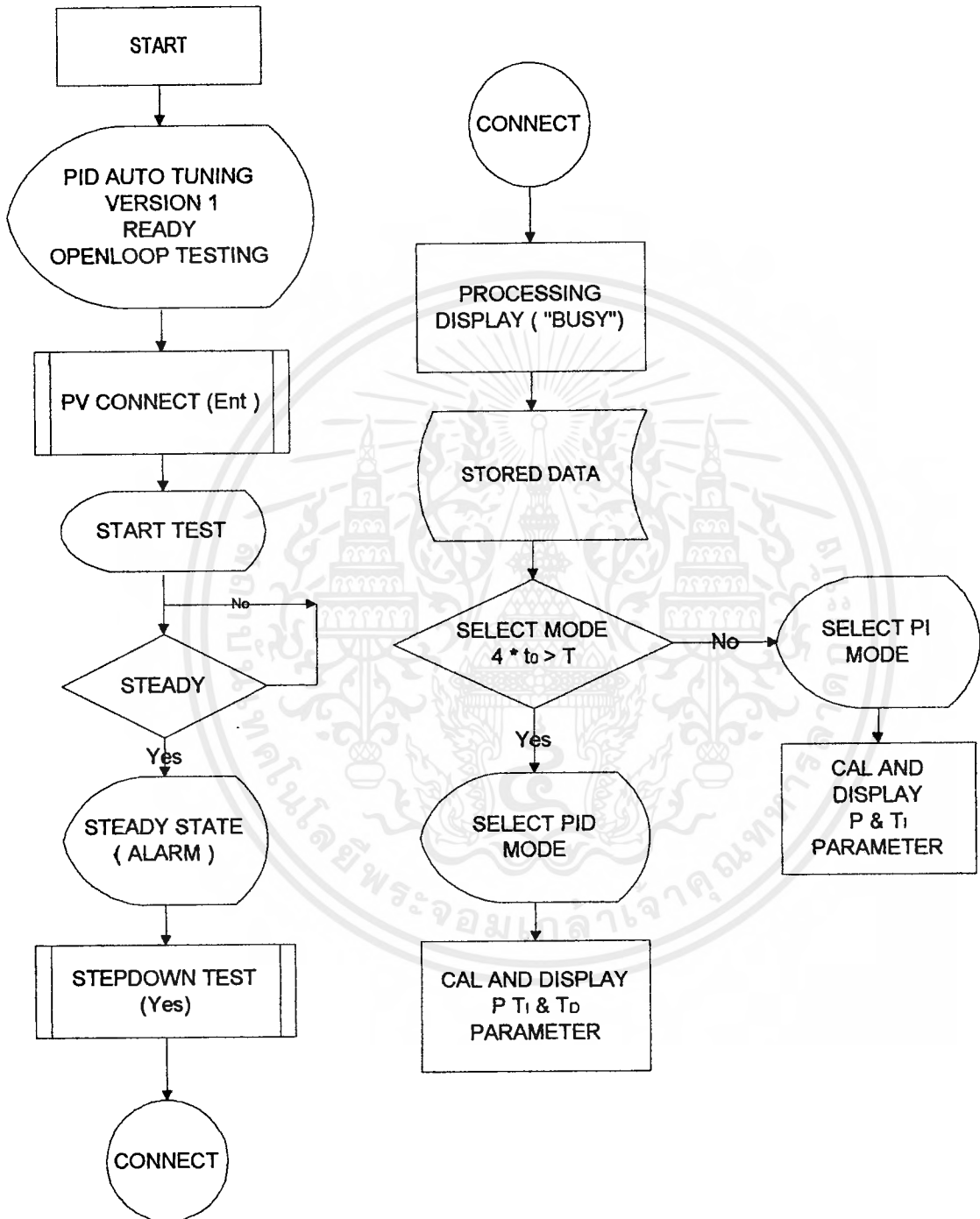
ขั้นตอนโปรแกรม

1. แสดงผลออกทางหน้าจอ LCD แนะนำตัว แสดงสถานะ และบอกขั้นตอนการใช้งาน
2. จับสัญญาณขาเข้า (PV) เป็นช่วง ๆ นำมาตรวจสอบว่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) เมื่อใด ขณะที่รอกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่อาจต้องใช้เวลาาน ผู้ใช้งานสามารถไปทำงานอื่น ๆ ก่อนได้
3. เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว นำค่า PV. ในขณะนั้นมาคำนวณหาค่า Process gain (K) และ ค่า $0.717K$ เก็บไว้เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป
4. ส่งสัญญาณออกทางลำโพงให้ผู้ใช้งานทราบเพื่อทำขั้นตอนต่อไป
5. ตรวจจับ PV นำมาเปรียบเทียบกับ K ที่คำนวณได้ จับเวลาว่ากระบวนการออกจากสภาวะคงที่ (Steady state) เมื่อใด ได้ค่า Dead time (t_0)
6. เมื่อกระบวนการออกจากสภาวะคงที่ (Steady state) ตรวจเช็ค PV. ที่รับเข้ามา เวลาที่ PV. มีค่าเท่ากับค่า $0.717K$ ที่คำนวณไว้แล้ว เวลาในขณะนั้นคือ 1 ใน 3 ของ Time - constant (τ)
7. นำค่า Dead time (t_0) ที่ได้ มาคูณกับ 4 เปรียบเทียบกับ Time constant (τ) ที่ได้ เพื่อเลือกว่าควรใช้ Mode ไດในการควบคุมกระบวนการ ถ้า $4t_0$ มีค่ามากกว่า τ ควรเลือก Mode PID ไม่เช่นนั้นควรเลือก Mode PI
8. คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าทั้งสามค่า ได้แก่ K_c , τ , และ t_0
9. แสดงการคำนวณที่ได้ทั้งหมดออกทางหน้าจอ LCD

ขั้นตอนการใช้งาน

1. ต่ออุปกรณ์กับกระบวนการที่จะปรับค่าพารามิเตอร์
2. ควบคุม PV. ของกระบวนการให้อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ที่ 30%
3. เปลี่ยนโหมดการควบคุมที่เครื่องควบคุม (controller) ให้เป็นโหมด manual
4. หยุดทำการควบคุม ปล่อยให้ PV. ลดลง PID Auto tuning จะจับเวลาในขณะที่ PV. มีค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ
5. เมื่อ PID Auto tuning แสดงผลการคำนวณแล้ว นำพารามิเตอร์ที่หาได้ไปใช้ในการควบคุม Process

Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

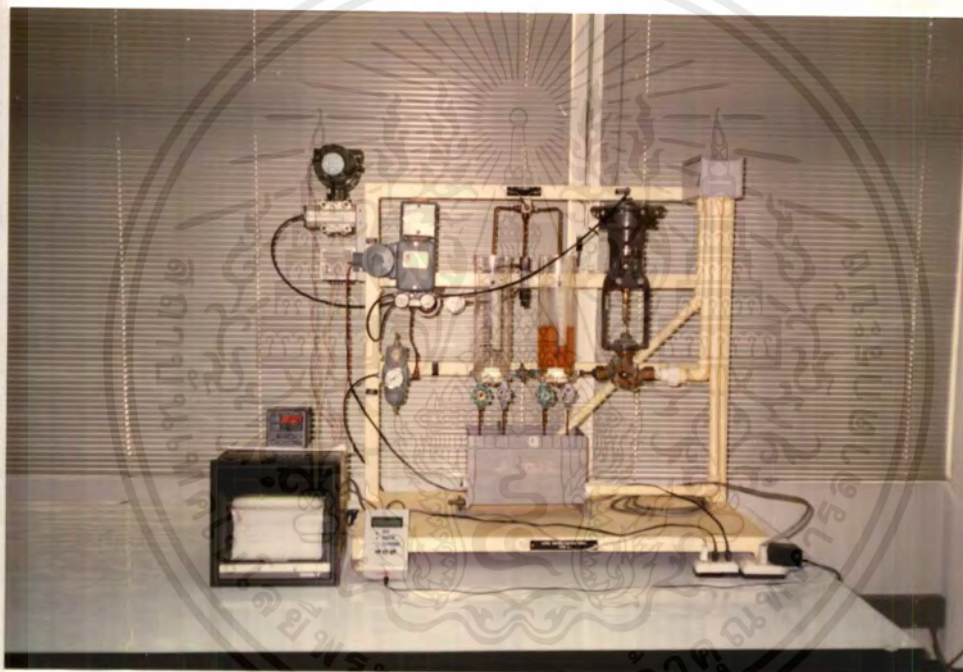


การทดลอง

การทดลองที่ 1

ทดลองกับ กระบวนการควบคุมระดับของเหลว

ดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการควบคุมระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

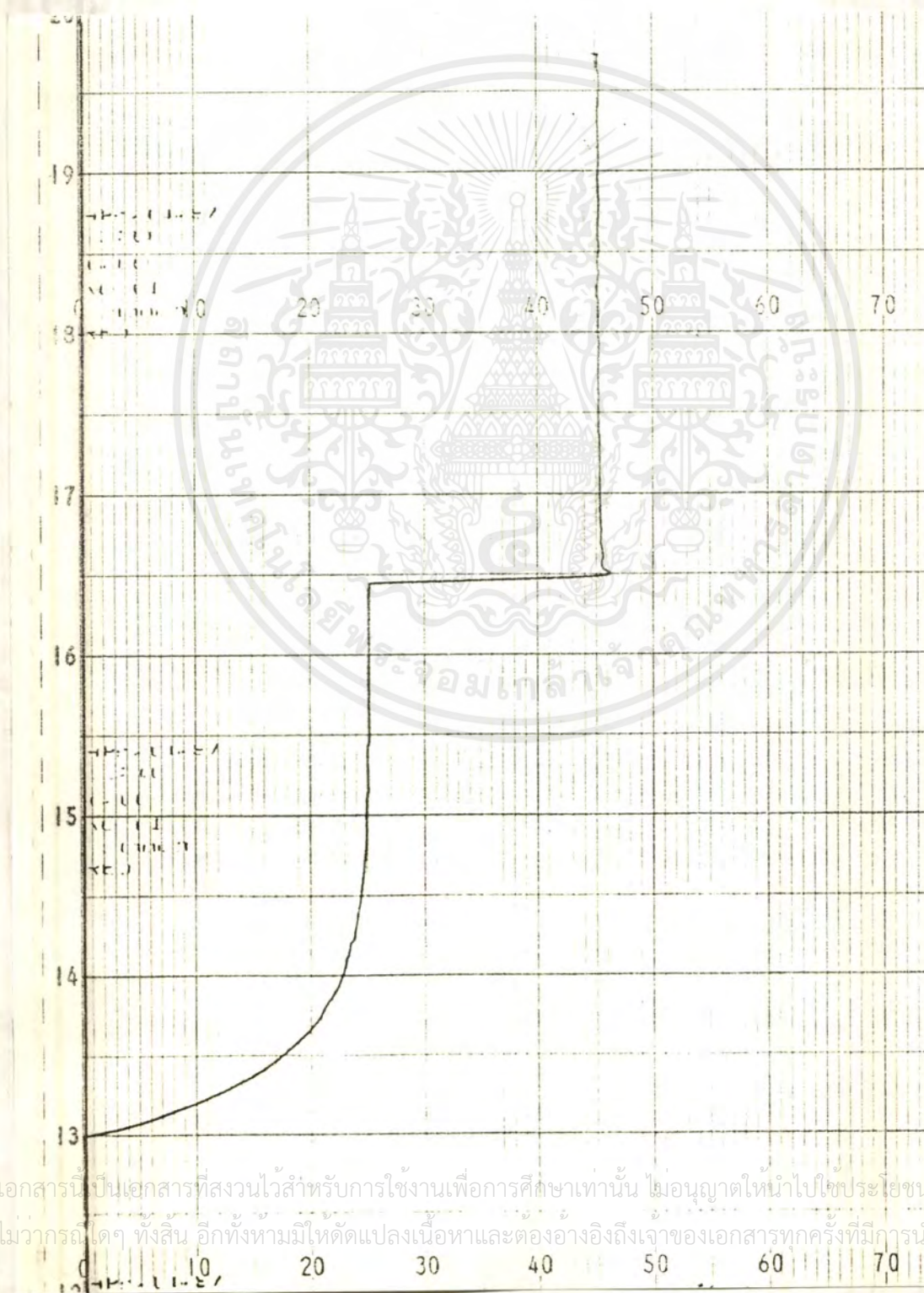
ผลการทดลอง

1. ควบคุมกระบวนการด้วยโหมด PI
2. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ควรใช้ในการควบคุมคือ

$$K = 3.62$$

$$\tau_i = 158 \text{ sec}$$

กราฟแสดง ผลตอบสนองของ Process ที่ setpoint เป็น 25 และ 45 ที่ความเร็วการ
บันทึก 250 mm./hr.

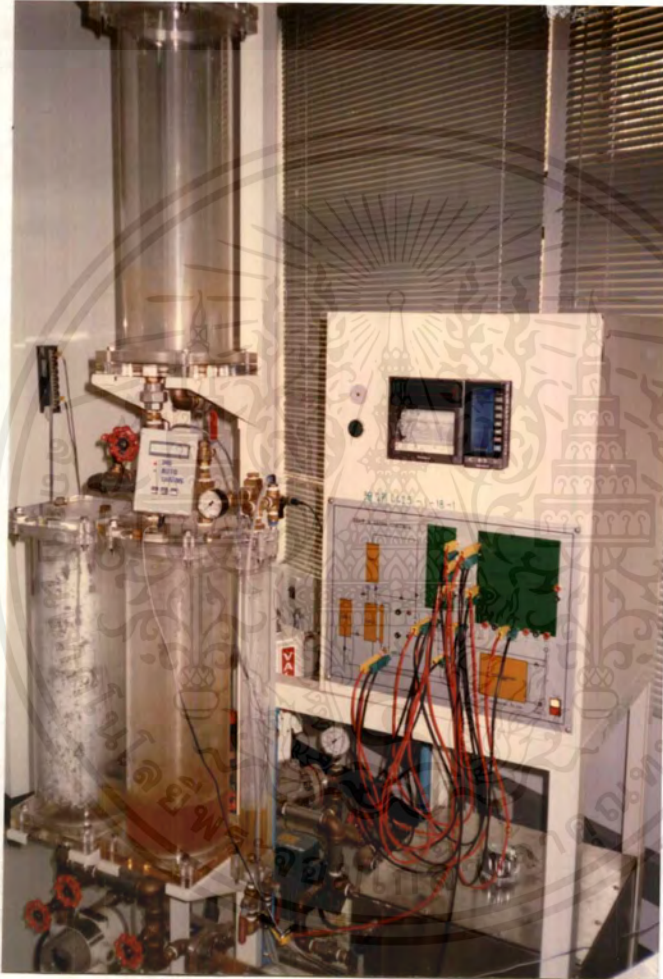


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

ทดลองกับ กระบวนการควบคุมการไหล

ดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการควบคุมการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

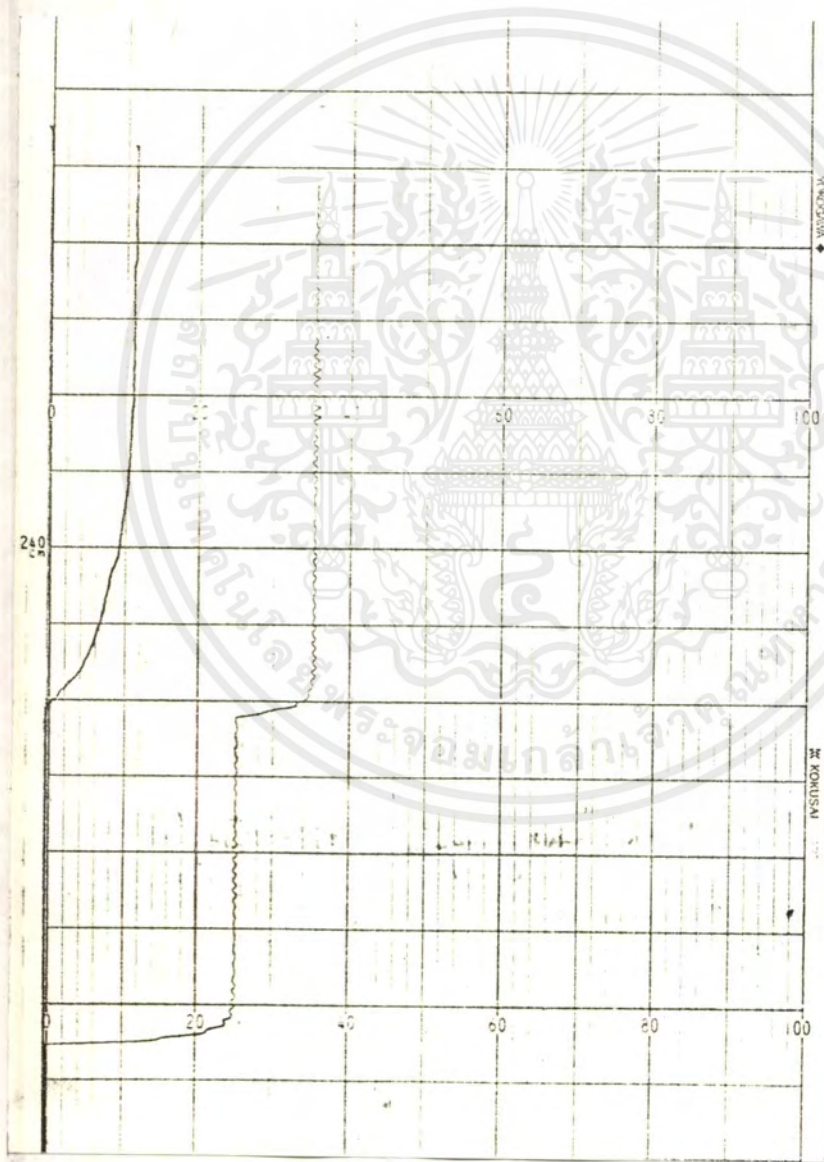
ผลการทดลอง

1. ควบคุมกระบวนการด้วยโหมด PI
2. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ควรใช้ในการควบคุมคือ

$$K = 2.16$$

$$\tau_i = 5 \text{ sec}$$

กราฟแสดง ผลตอบสนองของ Process ที่ setpoint เป็น 25 และ 35 ที่ความเร็วการ -
บันทึก 600mm./hr.

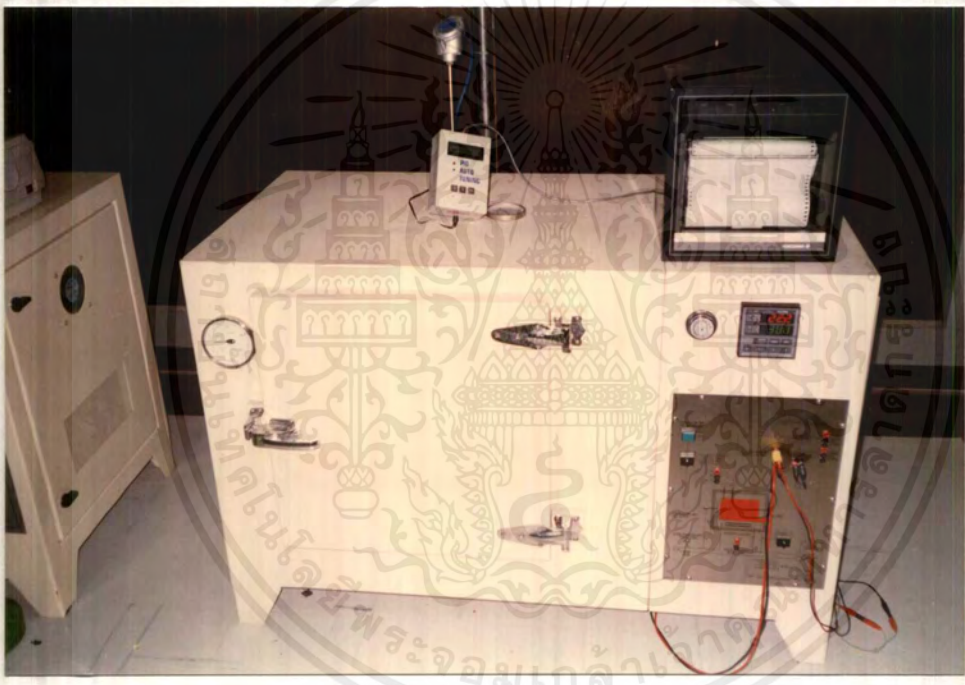


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

ทดลองกับ กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

ดังรูป



รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการควบคุมระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

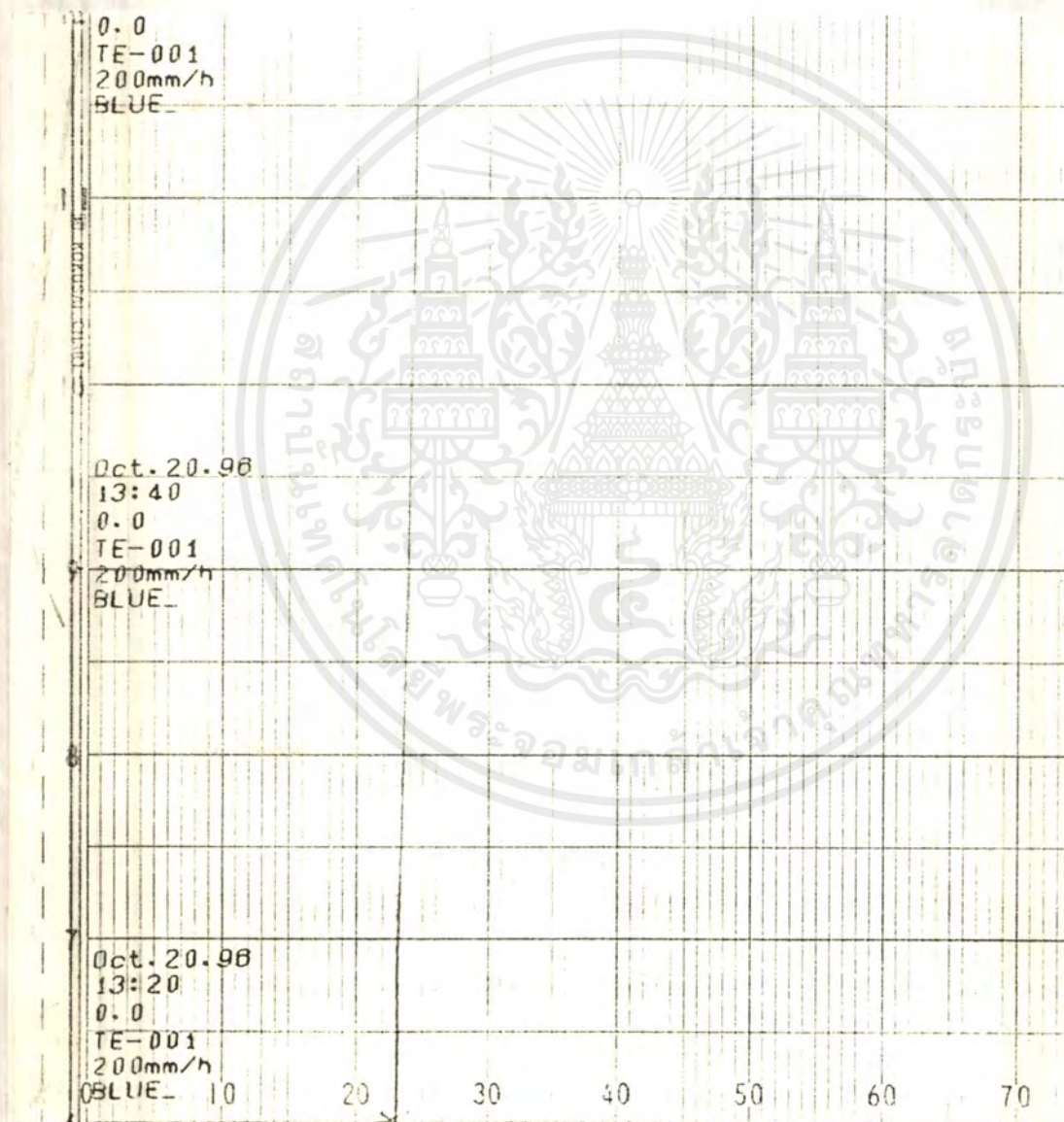
ผลการทดลอง

1. ควบคุมกระบวนการด้วยโหมด PI
2. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ควรใช้ในการควบคุมคือ

$$K = 3.46$$

$$\tau_i = 2966 \text{ sec}$$

กราฟแสดง การตอบสนองของ Process ที่ setpoint เป็น 50°C จาก 45°C 200%



จากผลการทดลองมีแนวโน้มว่า PID Auto tuning ไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีค่า Time constant สูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

แนวทางการพัฒนา

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ พยายามแสดงให้เห็นถึงแนวทางต่าง ๆ ในการหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ และนำมาแปลงเป็นพารามิเตอร์ในการควบคุม PI หรือ PID จากข้อจำกัดทางด้านเวลาที่ต้องรอจนกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) แล้วทำการทดสอบ จึงได้มีแนวทางในการหาค่าคุณลักษณะจากการทดสอบแบบ Step test โดยเปลี่ยนค่าสัญญาณควบคุม ($m(t)$) เพิ่มขึ้น (บทที่ 3) แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ การทดสอบลักษณะเช่นนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อโดยอาศัยหลักการของการทำนายค่า Optimum predictive หรือ State space ซึ่งคณะผู้จัดทำไม่ได้ทำการศึกษาลึกกลงในรายละเอียด ผู้ที่มีความสนใจน่าจะทำการศึกษาเพื่อพัฒนาให้การหาค่าคุณลักษณะทำได้เร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

นอกจากนี้อาจจะทำการขยายช่วงการรับผลตอบสนองของกระบวนการ (PV.) ให้กว้างขึ้น หรือสามารถปรับเปลี่ยนช่วงของการรับผลตอบสนองของกระบวนการ (PV.) ให้ครอบคลุมตลอด 0 -100%

รูปสำเร็จของ PID Auto Tuning



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

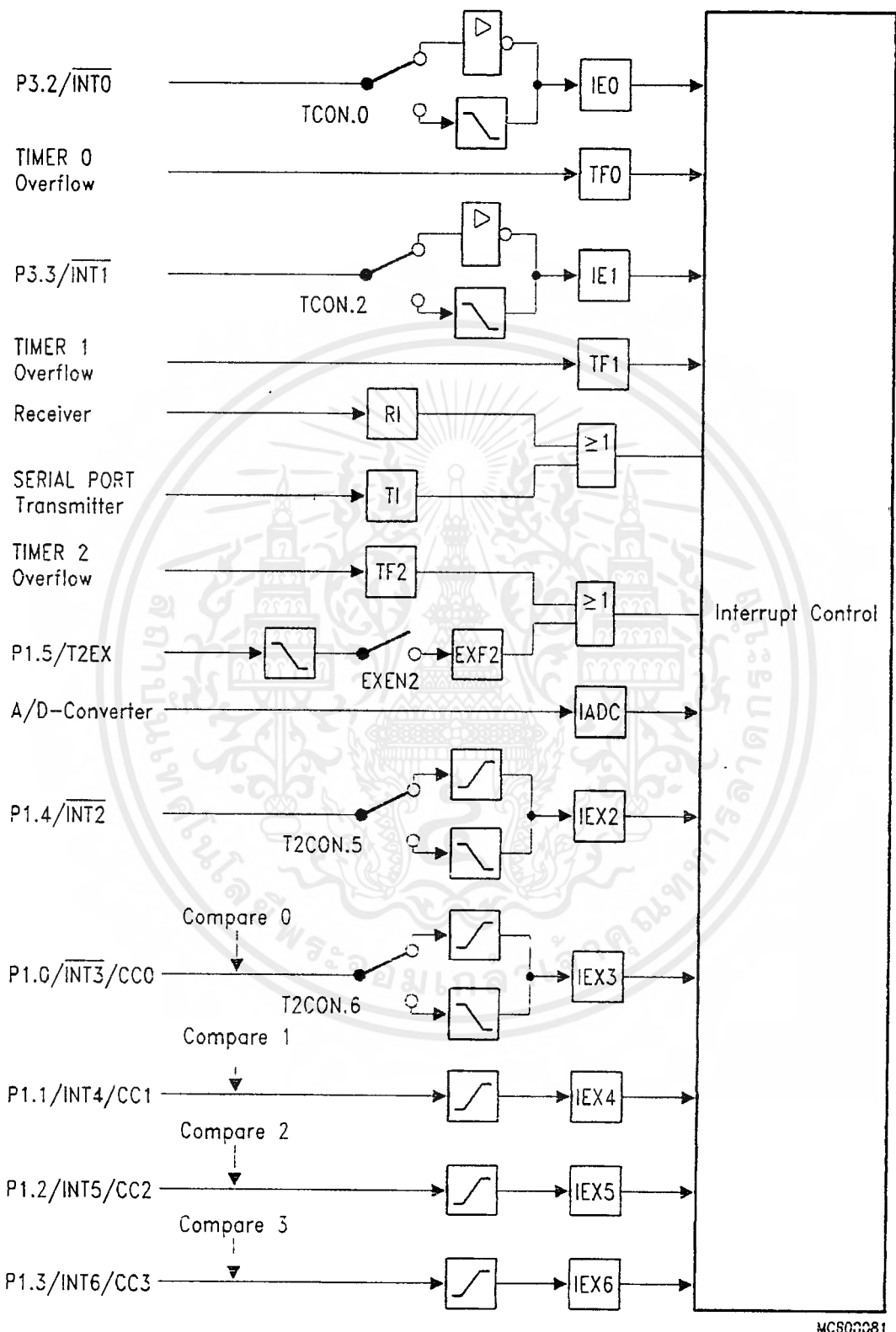


Figure 5
Interrupt Request Sources

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High-Performance 8-Bit CMOS Single-Chip Microcontroller

SAB 80C515/80C535

Preliminary

SAB 80C515/80C515-16 CMOS microcontroller with factory mask-programmable ROM.
SAB 80C535/80C535-16 CMOS microcontroller for external ROM

- 8 K × 8 ROM (SAB 80C515 only)
- 256 × 8 RAM
- Six 8-bit I/O ports, one input port for digital or analog input
- Three 16-bit timer/counters
- Highly flexible reload, capture, compare capabilities
- Full-duplex serial channel
- Twelve interrupt vectors, four priority levels
- 8-bit A/D converter with 8 multiplexed inputs and programmable internal reference voltages
- 16-bit watchdog timer
- Boolean processor
- Most instructions execute in 1 μ s (750 ns)
- 4 μ s (3 μ s) multiply and divide
- External memory expandable up to 128 Kbytes
- Backwardly compatible with SAB 8051
- Functionally compatible with SAB 80515
- Idle and power-down mode
- Plastic leaded chip carrier package: P-LCC-68
- Plastic Metric Quad Flat Package P-MQFP-80
- Two temperature ranges available:
 - 0 to 70 °C (for 12, 16, 20 MHz)
 - 40 to 85 °C (for 12, 16 MHz)

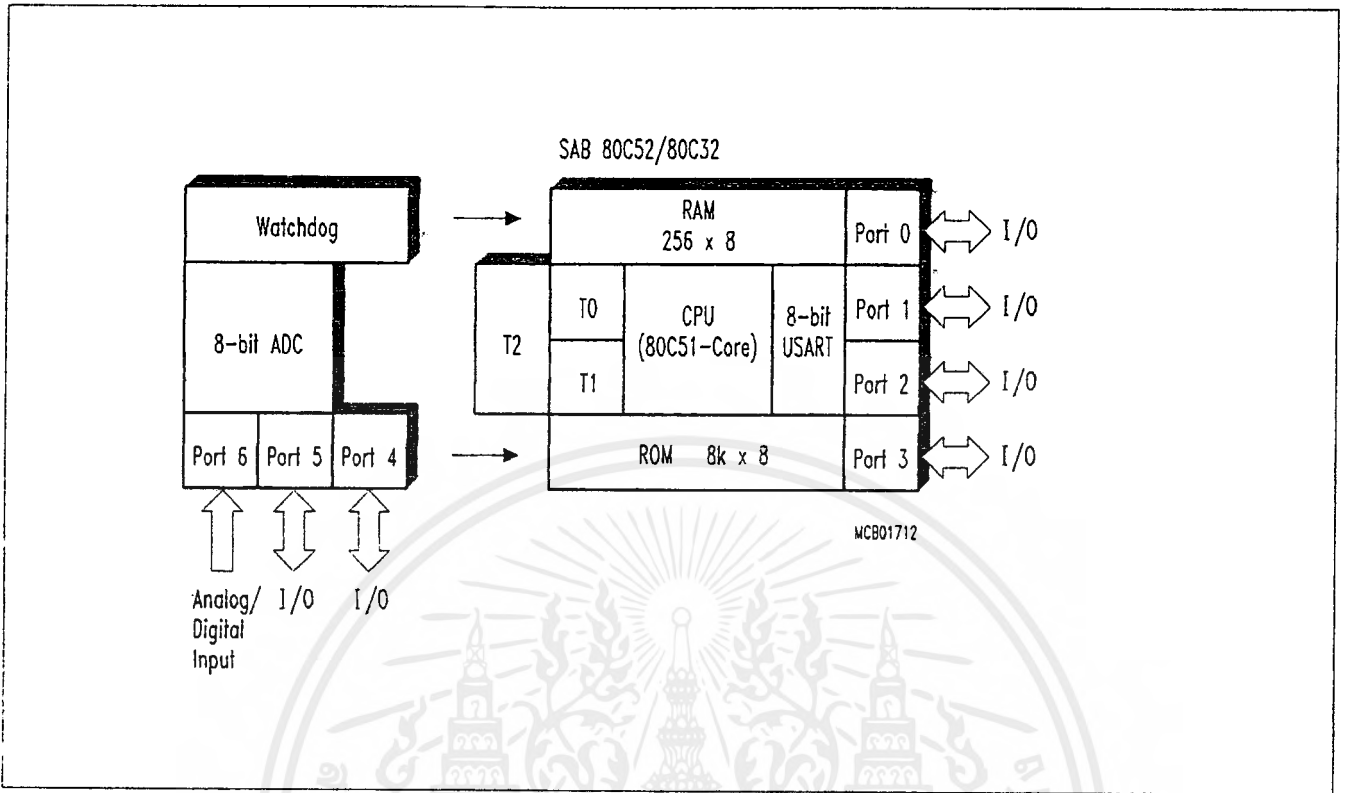
The SAB 80C515/80C535 is a powerful member of the Siemens SAB 8051 family of 8-bit microcontrollers. It is designed in Siemens ACMOS technology and is functionally compatible with the SAB 80515/80535 devices designed in MYMOS technology.

The SAB 80C515/80C535 is a stand-alone, high-performance single-chip microcontroller based on the SAB 8051/80C51 architecture. While maintaining all the SAB 80C51 operating characteristics, the SAB 80C515/80C535 incorporates several enhancements which significantly increase design flexibility and overall system performance.

In addition, the low-power properties of Siemens ACMOS technology allow applications where power consumption and dissipation are critical. Furthermore, the SAB 80C515/80C535 has two software-selectable modes of reduced activity for further power reduction: idle and power-down mode.

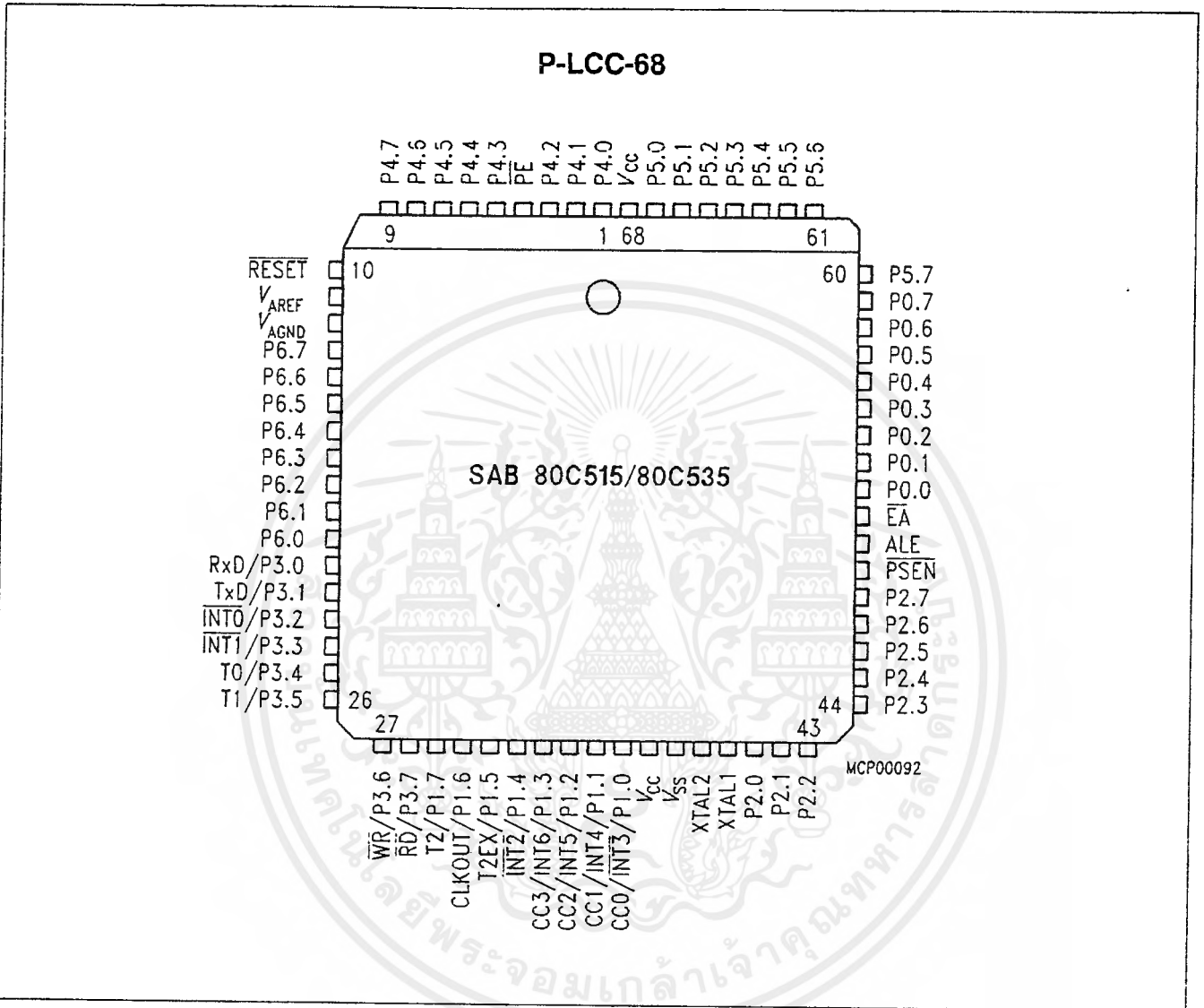
The SAB 80C535 is identical with the SAB 80C515 except that it lacks the on-chip program memory. The SAB 80C515/80C535 is supplied in a 68-pin plastic leaded chip carrier package (P-LCC-68) or in a plastic metric quad flat package (P-MQFP-80).

There are versions for 12, 16 and 20 MHz operation and for 16 MHz operation and for extended temperature ranges – 40 to 85 °C. Versions for extended temperature range – 40 to + 110 °C are available on request.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configuration (top view)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

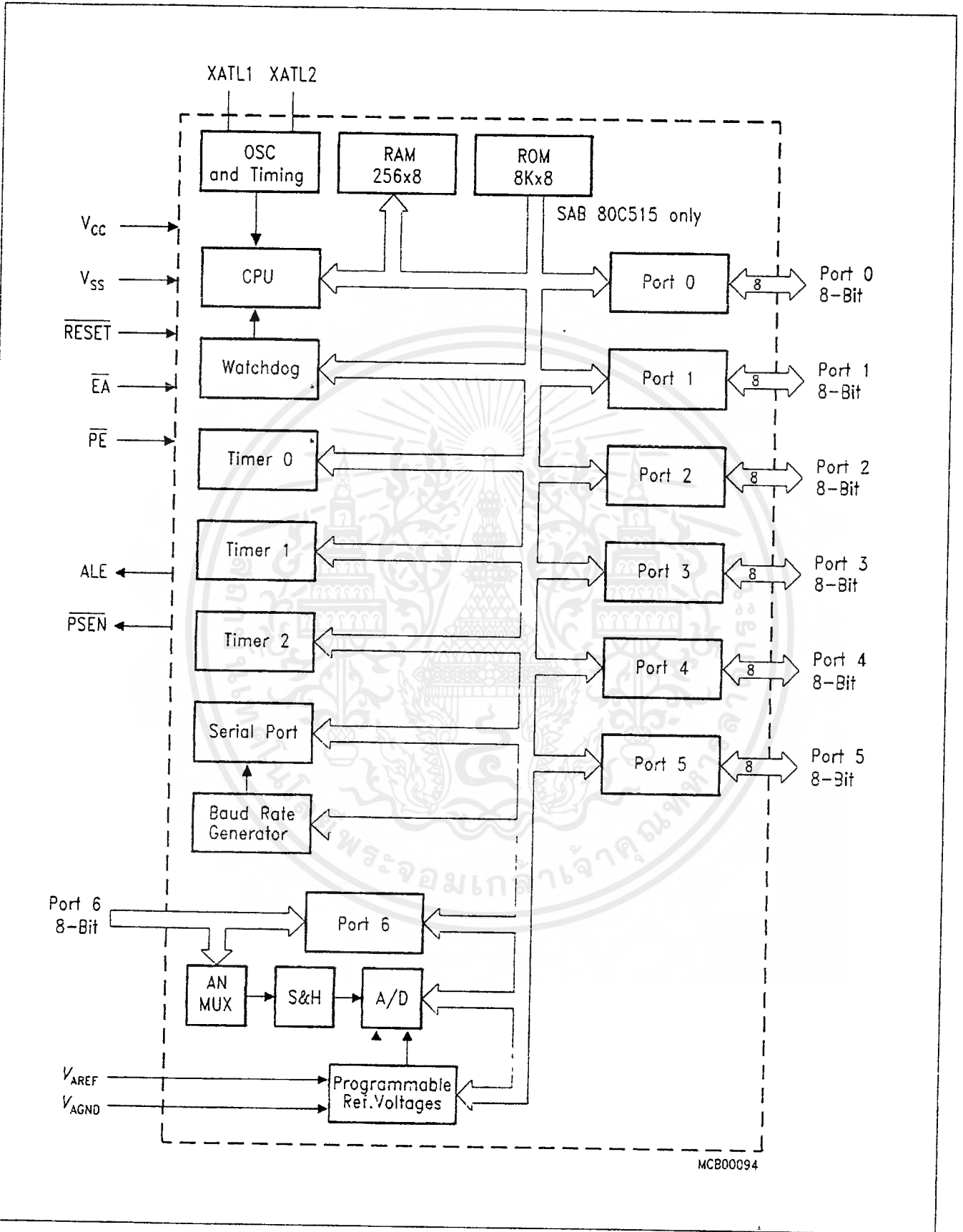


Figure 1
Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Semiconductor Group อีกรหัสห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 13 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

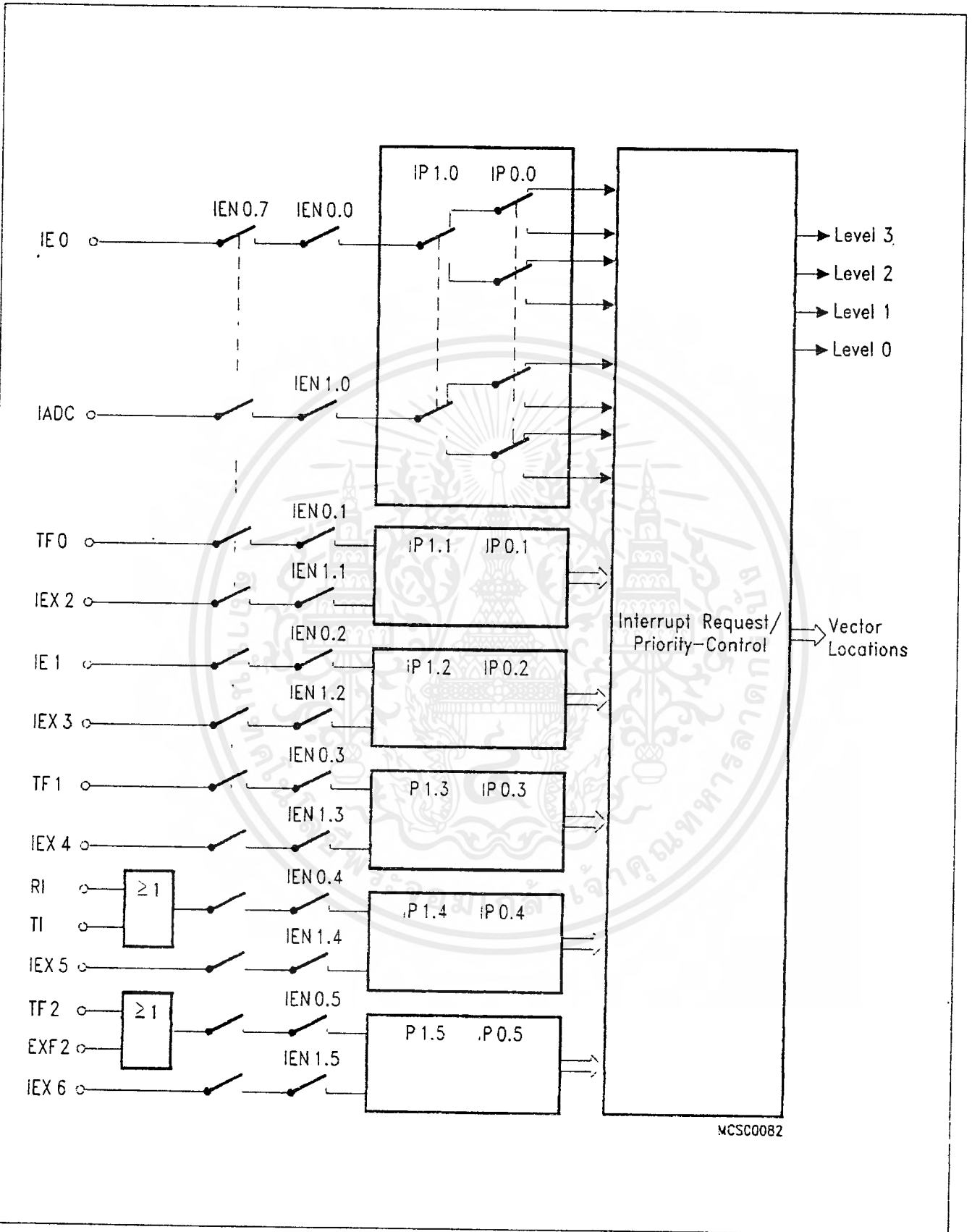


Figure 6
Interrupt Priority Level Structure

บรรณานุกรม

Smith , Carlos A.

Principles and practice of automatic process control

Yeralan, Sencer.

Programming and interfacing the 8051 microcontroller

เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 2

ซีอีดียูเคชั่น /2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้