



การออกแบบ PID-FUZZY สำหรับควบคุมอุณหภูมิโดยใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์

DESIGN OF PID-FUZZY CONTROLLER FOR  
TEMPERATURE CONTROL BY USING  
MICROCONTROLLER



วัน เดือน ปี... 29 ก.ย 2541  
เลขทะเบียน... 038035  
เลขเรียกหนังสือ... T.39055 ๖827ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

038035

# ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบ PID-FUZZY สำหรับควบคุมอุณหภูมิ  
โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
(DESIGN OF PID-FUZZY CONTROLLER FOR TEMPERATURE  
CONTROL BY USING MICROCONTROLLER)

ผู้จัดทำ

1. นางสาว สุพรพิศ โยธากุล 36014502
2. นาย อภิชาติ ชูใหม่ 36014545

51 ๗๗

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วิริยะ กองรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์**

การออกแบบ PID-FUZZY สำหรับควบคุมอุณหภูมิ  
โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

**จัดทำโดย**

นางสาว สุพรพิศ โยชากุล เลขประจำตัว 36014502  
นาย อภิชาติ ชูใหม่ เลขประจำตัว 36014545

**ระดับการศึกษา**

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

**ภาควิชา**

เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

**ปีการศึกษา**

2539

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**

อ. วิริยะ กองรัตน์

**บทคัดย่อ**

โครงการ การออกแบบตัวควบคุมแบบ PID-FUZZY สำหรับควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ฉบับนี้เป็นการศึกษาทฤษฎี FUZZY CONTROL เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุม PID (PID CONTROLLER) โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-52 ที่ใช้งานทั่วไปมาควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรมภาษาเบสิก ซึ่งสามารถใช้งานได้สะดวก ง่ายต่อการใช้งานและมีความสามารถสูง พร้อมทั้งมีการแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของ LCD ซึ่งโครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการได้จริง ลักษณะของการควบคุมกระบวนการจะใช้ PID-FUZZY AUTOMATIC โดยนำสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดัน

1-5 V แปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล (8bits) มาคำนวณได้ผลลัพธ์และส่งสัญญาณควบคุมกระบวนการเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA ซึ่งการแปลงสัญญาณสำหรับโครงการนี้จะใช้อุปกรณ์และ Software ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเอง

**THESIS** DESIGN OF PID-FUZZY CONTROLLER FOR  
TEMPERATURE CONTROL BY USING MICROCONTROLLER  
**BY** MISS. SUPORNPIT YOTAKOON  
MR. APHICHART CHUMAI  
**DEGREE** BACHELOR OF ENGINEERING  
INSTRUMENT ENGINEERING  
**ACADEMIC** 1996  
**THESIS ADVISOR** MR. VIRIYA KONGRAT



**ABSTRACT**

This project aim is to find the parameter of PID controller by using “ **fuzzy control theory** ” via MCS-52 .While the MCS BASIC-52 is used as programming language because of the ability of control and display in numeric via LCD module. This project can be applied to control the temperature of process .

This project can automatically stand alone work . The input signal of controller , in the standard voltage signal (1-5 Vdc) , will be transformed in to digital form (8 bits) , After the calculation form microcontroller , the standard current signal (4-20 mA) will be sent to control the process.

# สารบัญ

## บทนำ

วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์	บ-1
ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	บ-2
ประโยชน์ที่ได้รับ	บ-2

## บทที่ 1 ระบบการควบคุมแบบ FUZZY

### (FUZZY CONTROL)

1.1 ทำไมจึงต้องใช้ " FUZZY CONTROL "	1-1
1.2 FUZZY คืออะไร	1-1
1.3 FUZZY ทำงานอย่างไร	1-2
1.4 FUZZY MODELS	1-3
1.5 ทฤษฎี FUZZY CONTROL	1-6
1.6 ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมโดยใช้ FUZZY	1-9
1.7 ตัวอย่าง Temperature Control by Fuzzy	1-10
1.8 การประยุกต์ใช้งาน โดยการใช้ FUZZY CONTROL	1-10

## บทที่ 2 ระบบควบคุม PROPORTIONAL-INTEGRAL- DERIVATIVE CONTROL (PID CONTROL)

2.1 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน Proportional Controller (P)	2-13
2.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล Proportional-Integral Control (PI)	2-19
2.3 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและเดอริเวทีฟ Proportional-Integral-Derivative Control (PID)	2-21
2.4 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนและเดอริเวทีฟ Proportional-Derivative Control (PD)	2-24
2.5 เครื่องควบคุมแบบคิิจิตอล ( Digital Controller)	2-25
2.6 รีเซ็ท-วินด์อัฟ	2-26

## **บทที่ 3 ระบบการควบคุมแบบ PID ร่วมกับ FUZZY (PID-FUZZY CONTROL)**

3.1 ข้อดีของระบบควบคุมแบบ PID	3-30
3.2 หลักการควบคุมแบบ PID ด้วย FUZZY GAINS	3-30
3.3 หลักการของ Ziegler and Nichols	3-35
3.4 แปลงค่า Fuzzy Outputs (KP,KD,α) เป็น Kp,Kd,Ki Gains	3-36

## **บทที่ 4 โปรแกรมควบคุมกระบวนการและแสดงผล**

4.1 ALGORITHM การทำงานของ CONTROLLER	4-40
4.2 โปรแกรมเบสิกบนMCS-52 สำหรับPID-FUZZY CONTROLLER	4-41

## **บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง**

### **( FOR TEMPERATURE CONTROL)**

5.1 โหมด PID	5-48
5.2 โหมด PID-FUZZY	5-52
5.3 Process Model for Temperature Control	5-60
5.4 Block Diagram for Temperature Control	5-61

## **บทที่ 6 บทสรุป**

6.1 PID CONTROLLER	6-62
6.2 PID-FUZZY CONTROLLER	6-62
6.3 PID Control System With A Fuzzy Gains	6-64

## **ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูล INTERFACE**

วงจรแปลงสัญญาณ ANALOG เป็น DIGITAL (33-FF)	ก-1
วงจรแปลงสัญญาณ DIGITAL เป็น ANALOG (0-5 V)	ก-2
วงจรแปลงแรงดัน(1-5 V)เป็นกระแส(4-20mA)	ก-3
วงจรสร้าง SUPPLY (+5,-5V & +15,-15V)	ก-4
ADC 0804	ก-5.1-ก-5.12
DAC 0800	ก-6.1-ก-6.10

## **ภาคผนวก ข รูปภาพประกอบการทดลอง**

### **กิตติกรรมประกาศ**

### **หนังสืออ้างอิง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม มีวิธีการควบคุมอยู่หลายวิธีซึ่งโดยปกติแล้วเรามักใช้ PID CONTROLLER ในการควบคุม แต่ปัจจุบันกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมากขึ้น การควบคุมโดย PID จึงมีข้อจำกัดในการหารูปแบบของกระบวนการออกมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำได้ยาก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันมีวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือการควบคุมโดยการเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ที่ไม่จำเป็นต้องหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอน เพียงแค่กำหนดคำตอบที่ต้องการว่าเมื่อควบคุมแล้วจะให้ผลลัพธ์เป็นอย่างไร เท่านั้นเช่นที่ฤษฎีของ FUZZY SET และ NEURAL NETWORK

สำหรับโครงการที่นำเสนอนี้เป็นการควบคุมกระบวนการโดยใช้ PID-FUZZY CONTROLLER ซึ่งอาศัยหลักการของ FUZZY SET มาใช้ในการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุม

### วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาหลักการควบคุมกระบวนการโดยใช้ FUZZY
2. ศึกษาหลักการควบคุมกระบวนการโดยใช้ PID
3. ศึกษาหลักการควบคุมกระบวนการโดยใช้ PID กับ FUZZY
4. สามารถนำการควบคุมแบบ PID - FUZZY ไปใช้ในกระบวนการควบคุมจริง
5. ทำการทดลองการทำงานของ PID - FUZZY Controller ด้วยการทดลอง Control Temperature
6. สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยใช้ Microcontroller โดยอาศัยหลักการของ PID - FUZZY Control

## ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

นำทฤษฎี FUZZY SET ไปใช้ในการควบคุมร่วมกับ PID เพื่อควบคุมอุณหภูมิของตู้อบ ซึ่งค่า  $K_p, T_i, T_d$  ที่ใช้ในการควบคุม จะผ่านการตัดสินใจเลือกก่อนโดยใช้ทฤษฎี FUZZY SET จากนั้นค่า  $K_p, T_i, T_d$  ที่เหมาะสม ณ เวลานั้น จะผ่านไปยังการควบคุมแบบ PID เพื่อควบคุม process ต่อไปและค่า  $K_p, T_i, T_d$  จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ERROR และ CHANGE OF ERROR มีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่าระบบเข้าสู่ Stable แล้ว

## ประโยชน์ของปริญญาานิพนธ์

1. ได้ศึกษาและเข้าใจถึงทฤษฎีของ FUZZY ซึ่งมีวิธีคิดและตัดสินใจโดยอาศัยความรู้และความชำนาญของมนุษย์ในการวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไข เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องอาศัย Math Models ที่ยุ่งยากในการวิเคราะห์
2. นำหลักการควบคุมโดย FUZZY ไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการอื่นๆ เช่น LEVEL, FLOW เป็นต้น
3. นำเสนอเทคนิคการควบคุมโดยใช้ FUZZY ร่วมกับ PID เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มากกว่าการควบคุมด้วย PID เพียงอย่างเดียว
4. นำเสนอการควบคุมโดยใช้ FUZZY ร่วมกับ PID ที่เป็นไปโดยอัตโนมัติ ด้วยการเขียนโปรแกรมการเลือกค่า  $K_p, K_i, K_d$  ที่เหมาะสมซึ่งได้จากการคำนวณหามา ก่อน ส่งให้ PID CONTROL ทำให้มีความสะดวก ง่ายต่อการควบคุมและรวดเร็ว
5. เพื่อให้ผู้ที่สนใจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาหรืออ้างอิงได้

# บทที่ 1

## การควบคุมโดยใช้ FUZZY (FUZZY CONTROL )

### 1.1 ทำไมจึงต้องใช้ “ FUZZY CONTROL ”

สามารถแยกพิจารณาได้ 2 ทาง

#### 1. เหตุผลทางทฤษฎี

- FUZZY CONTROL ไม่ต้องการ Mathematical Model ทำให้สามารถออกแบบการควบคุมที่มี Mathematical Model ยากๆ ได้

- FUZZY CONTROL สามารถออกแบบโดยนำข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีลักษณะไม่ชัดเจนมาใช้ได้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ ซึ่ง Controller แบบเก่านั้นไม่สามารถนำข้อมูลแบบภาษามนุษย์มาใช้ได้

- FUZZY CONTROL นั้นเป็น Non-linear Controller ซึ่งถูกปรับแต่งโดยทฤษฎี Universal Approximation Fuzzy Logic Control ซึ่งสามารถปรับแต่งให้ทำงานเป็น Non-linear Controller

#### 2.เหตุผลทางปฏิบัติ

- เข้าใจง่าย เนื่องจาก Fuzzy Control เป็นการเลียนแบบวิธีการควบคุมของมนุษย์ซึ่งหลักการของ Fuzzy Control ก็สามารที่จะเข้าใจได้ง่ายแม้แต่โดยบุคคลซึ่งไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ ในทศวรรษที่ผ่านมาทฤษฎีการควบคุมแบบเก่าได้มีการใช้ Mathematical Tools ที่ซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งก็เป็นสิ่งจำเป็นในการแก้ปัญหาที่ยาก ซึ่งวิศวกรที่เข้าใจในทฤษฎีมีน้อย

- Implement ใ้่ง่าย ระบบ Fuzzy Logic ซึ่งเป็นหัวใจของ Fuzzy Control สามารถ Implement ได้ไม่ยากนัก ปัจจุบันมี Fuzzy VLSI Chip เกิดขึ้นมากมาย ซึ่งก็จะทำให้ในการสร้าง Fuzzy Controller ทำใ้่ง่ายและรวดเร็ว

- ใช้ค่าใ้่ง่ายไม่มากนักในการพัฒนา เนื่องจาก Fuzzy Control นั้นสามารถทำความเข้าใจใ้่ง่าย ใช้เวลาในการเรียนรู้ไม่มากนัก ทำให้ Software Cost ต่ำและจากการที่ Fuzzy Control สามารถ Implement ใ้่ง่าย จึงทำให้ Hardware Cost ต่ำด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมี Software Tools สำหรับออกแบบ Fuzzy Controller อีกด้วย ดังนั้น Fuzzy Control จึงเป็นวิธีการที่มีอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพการทำงานต่อราคาสูงมากที่สุด

### 1.2 FUZZY คืออะไร

Fuzzy เป็นศัพท์เทคนิคโดยเฉพาะ หมายถึง สภาพแห่งความกำกวมหรือคลุมเครือที่มีฐานมาจากสัญชาตญาณมนุษย์มากกว่าเรื่องของความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะเด่นของFuzzy

ประการแรก Fuzzy Sets สามารถให้คำจำกัดความของคุณภาพทางภาษา ( Quantitatively Using Linguistic Terms) ได้ดี เช่น สูง เตี้ย ตี เลว ร้อน เย็น เป็นต้น และยังสามารถให้ค่าความสำคัญของแต่ละสมาชิกใน Fuzzy Sets ได้ (Degree Membership )

ประการที่ 2 output ที่ได้จาก Fuzzy System จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่า input ของ Fuzzy System จะเปลี่ยนไปอย่างทันทีทันใดก็ตาม

### 1.3 FUZZY ทำงานอย่างไร

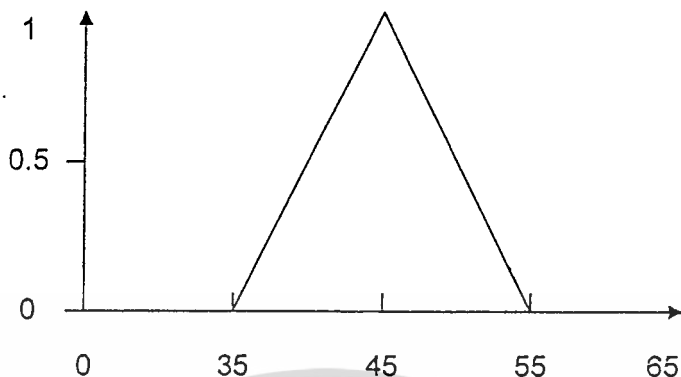
Fuzzy Sets เป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ ซึ่งจะเป็นการเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ คือ จะเป็นการประมาณ (Approximation ) จากปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆของระบบเพื่อสรุปหาเหตุผล ดังนั้น Fuzzy Logic จึงไม่ใช่ลอจิกที่มีเพียง 0 กับ 1 (Crisp Sets) ดังแสดงในรูปที่1-1เท่านั้น แต่เป็นลอจิกที่แทนความหมายของตัวแปร โดยบอกถึงระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรนั้นๆดังแสดงในรูปที่1-1



รูปที่ 1-1 แสดงกราฟ Crisp Sets ของช่วงอายุวัยกลางคน

ตัวอย่าง เมื่อนึกถึงคำว่า “วัยกลางคน” เราพบว่ามีขอบเขตที่คลุมเครือ คือไม่ทราบค่าที่แน่นอนได้จึงไม่อาจจะใช้ระบบไบนารีในเครื่องคอมพิวเตอร์ธรรมดาแก้ปัญหานี้ได้ จุดนี้เองที่ทฤษฎี Fuzzy เข้ามาช่วยในการคำนวณหาขอบเขต โดยสมมติว่า เราสรุปว่า วัยกลางคนหมายถึงอายุ 45 ปี แต่คนอายุ 35 หรือ 55 ก็ไม่อาจจะจัดอยู่ในข่าย “ไม่ใช่วัยกลางคนได้” ดังนั้นความหมายของคำว่า “วัยกลางคน” นั้นค่อนข้างจะแตกต่างกันภายในกรอบแห่งขอบเขตนั้น ในทางตรงกันข้าม ผู้ที่มีอายุน้อยกว่า 30 หรือมากกว่า 60 ก็เรียกได้ว่า “ไม่อยู่ในข่ายวัยกลางคนแน่” ความคิดนี้แสดงออกมาได้ตามกราฟรูปที่1-2หรือตามฟังก์ชันที่เรียกว่า “ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก” ( Membership Function ) ที่มีค่าเกรดระหว่าง 0 และ 1 โดย Fuzzy Sets ก็แสดงออกในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนี้อย่างไรก็ดีสังเกตรหัสว่า ค่าเกรดระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะ

แปรเปลี่ยนได้ระหว่าง 0 และ 1 นี้เองทำให้การแสดงผลออกมาเป็นรูปธรรมที่เป็นตัวเลขได้ดังแสดง  
ในรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-2 แสดงกราฟ Fuzzy Sets ของช่วงอายุวัยกลางคน

จากรูปที่ 1-2 คนอายุ 34 และ 56 จะไม่ถูกจัดเป็น “วัยกลางคน” แต่ใครก็ตามที่ตอนนี้อยู่  
คิดว่าตัวเองหนุ่มด้วยอายุแค่ 34 ก็จะทำให้ “วัยกลางคน” ทันทีเมื่อถึงวันเกิดในปีหน้า ลักษณะ  
ค่อนข้างยืดหยุ่นนี้เกิดขึ้นเป็นเพราะการกำหนดค่าที่ไม่มีควมยืดหยุ่น แนวคิดที่มีการกำหนดค่าชัดเจน  
ในรูป 0 หรือ 1 เช่นเดียวกับระบบไบนารีที่ใช้กันในคอมพิวเตอร์ธรรมดาทั่วไปนั้นทำงานโดย  
นกำหนดช่วงตายตัว ( Fixed Range ) โดยที่เรากำหนดไว้ว่า “วัยกลางคน” คือช่วงระหว่าง 35 ถึง  
55 ปี ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Crisp Sets ซึ่งจะมีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับ Fuzzy Sets อย่างสิ้นเชิง

#### 1.4 FUZZY MODELS

องค์ประกอบหลักสำหรับระบบควบคุมโดยใช้ Fuzzy Logic มีดังนี้

1. Fuzzification of Inputs (FUZZIFIER) คือขั้นตอนที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่เข้ามาไป  
เป็น input ของระบบ Fuzzy ซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ใน  
Fuzzy Set

2. Rule Evaluation (กฎของการวินิจฉัย )

สำหรับกฎการวินิจฉัยค่า input และค่าความจริงจะสนับสนุนเงื่อนไขสำหรับการสร้างส่วน  
กำหนดรูปแบบ Fuzzy ที่ช่วงปกติ Fuzzy Compiler จะสุ่มค่าของ input และนำมาวินิจฉัยค่าเพื่อให้  
ได้ผลออกมาทาง output ของระบบตามทฤษฎี ระบบจะรวมเอาค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ input  
เพื่อนำมาวินิจฉัยและประมวลผล แต่จริงๆแล้วการครอบคลุมค่าเหล่านี้ไม่จำเป็นในการใช้งานปกติ

กฎของการวินิจฉัยนั้นได้มาจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Input และ Output ขึ้นมา  
เพื่อนำไปสู่ Output ที่ต้องการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง Input และ Output ก็คือ Rule นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะของ IF/THEN RULES มีดังนี้

IF เงื่อนไข THEN ผลลัพธ์ หรือ

IF เงื่อนไข (1) AND เงื่อนไข (2) THEN ผลลัพธ์ , ผลลัพธ์,...

เช่น IF Dt=NB AND DT=NM THEN DTO=PS

หมายเหตุ Dt = error  
DT = change of error  
DTo = Output  
NB = Negative Big  
NM = Negative Medium  
PS = Positive Small

### 3. Defuzzification of Outputs ( DBFUZZIFIER )

Defuzzifier คือ ขั้นตอนที่ทำกรเปรียบเทียบ Fuzzy Output ทั้งหมดเข้ากับผลลัพธ์

รวม

เทคนิคและวิธีการเปลี่ยน Fuzzy Sets เป็น Crisp Sets

3.1 เทคนิค Maximizer เลือกค่าสูงสุดจากหลายๆ แบบมาเพียงแบบหนึ่ง

เป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิก จากการกระทำหลายๆ แบบ แล้วเลือกกระทำเพียง 1 รูปแบบ จากตัวอย่างลิ้นบังคับน้ำมัน สมมติว่าผลของการกระทำของ 3 ระบบมีค่า  $\mu$  ของลิ้นบังคับน้ำมันคือ

$$\mu_{\text{ซ้าย}} = 0.75$$

$$\mu_{\text{ขวา}} = 0.4$$

$$\mu_{\text{ปานกลาง}} = 0.2$$

} ลงไป

ดังนั้นการกระทำของลิ้นบังคับน้ำมันจะใช้ค่า  $\mu_{\text{ซ้าย}} = 0.75$  เป็นค่าสูงสุด

ถ้าหากเกิดการกระทำที่มีค่า  $\mu$  สูงสุดเท่ากัน 2 อย่าง จะต้องใช้รูปแบบการแก้ปัญหาอีกลักษณะหนึ่ง คือใช้ค่าเฉลี่ยของค่า output หรือเลือกการกระทำที่สัมพันธ์กับต่างระดับของระบบพื้นฐาน ถึงแม้เทคนิค Maximizer จะเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ก็ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

### 3.2 ทฤษฎีค่านำหนักเฉลี่ย

จะใช้ค่าเฉลี่ยของการกระทำหลังจากการกำหนดค่าระดับของระดับการเป็นสมาชิกไว้ล่วงหน้าแล้ว เป็นวิธีที่ง่าย และใช้การคำนวณเพียงเล็กน้อย แต่ยังไม่ค่อยชัดเจน เพราะค่า output ของฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก (Membership Function) มีค่า output มากกว่า 1 ค่า ต่อค่า  $\mu$  ที่กำหนดให้ ค่า output ฟังก์ชันของการเป็นสมาชิกมีลักษณะคล้ายกับรูปประมุข หรือประมุขตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

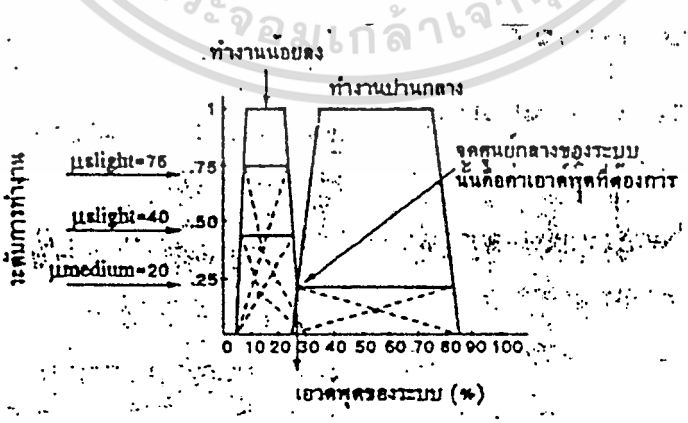
ยอด ถ้า  $\mu = 0.5$  ค่า output มาจากค่าฟังก์ชันของขอบสัญญาณทั้งด้านขาขึ้นและขาลง ถ้า  $\mu = 1$  จะมีค่าตรงกับช่วงของสัญญาณที่เกิดขึ้นทั้งหมด

วิธีการกำจัดความไม่ชัดเจนสามารถทำได้ด้วยกระบวนการ Damppling ค่าในฟังก์ชัน output ด้วยค่าที่แน่นอนให้กลับไปอยู่ในฟังก์ชัน input ซึ่งเป็นวิธีที่น่าเบื่อและไม่สามารถใช้ค่าที่เป็นค่าตรงข้ามของฟังก์ชัน input ในการวิเคราะห์ด้วย ตัวอย่างเช่น เราจะไม่ใช่ว่าถ้าความเร็วคือไม่เร็ว เป็นต้น

### 3.3 กรรมวิธีค่าศูนย์กลาง (Center of Gravity, Centroid)

เป็นการแสดงว่าค่า output ที่สัมพันธ์กับค่าจุดศูนย์กลางมวลของ output ในระดับที่ทำงานเพราะเราไม่ใช่ค่าของฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก และจะไม่เกิดความไม่ชัดเจนอีกต่อไป กรรมวิธีนี้เป็นการคำนวณที่แน่นอน และเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในวิธีอื่นๆ ค่าศูนย์กลางกลางมักจะสัมพันธ์กับค่า output 1 ค่า ผลที่ได้จากการกระทำอย่างหยาบๆ ภายในช่วงของ output กฎต่างๆ ไปจะต้องมีการปฏิบัติเพียงจุดเดียวของแต่ละระบบ ในกรณีที่ต้องทำพร้อมๆ กันหลายกฎ ในการกระทำ 1 ครั้ง จะต้องเกิดการซ้อนทับกัน (Overlap) ของค่าฟังก์ชัน input ของระดับการเป็นสมาชิกเพื่อแก้ไขความไม่ต่อเนื่องของ output ถึงแม้ว่าจะมีข้อบกพร่อง แต่ก็ยังเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรวมกัน (Combination) และการแปลงค่า Fuzzy กลับคืน (Defuzzification)

กรรมวิธีนี้จะรวมค่า output ของการกระทำหลายๆ ค่า เป็นค่าเดียวสำหรับใช้ในระบบ และค่า output ค่าเดียวนี้เป็นค่าน้ำหนักเฉลี่ยของศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละฟังก์ชัน ระดับการเป็นสมาชิก ตัวอย่าง การกระทำ 3 แบบ ของลิ้นบังคับน้ำมันในเครื่องยนต์ ซึ่งกระทำดังนี้ กระทำในเซตช้า (Slight) ด้วยค่า  $\mu = 0.75$  และ  $0.4$  ในเซตปานกลาง (Medium) ด้วยค่า  $\mu = 0.2$  จะได้ค่าศูนย์กลาง ซึ่งแสดงโดยวงกลมเล็กๆ และค่า output ที่ได้จะควบคุมให้ลิ้นบังคับน้ำมันของเครื่องยนต์ทำงานที่ระดับ 29% ของระดับการทำงานทั้งหมด ดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 2-3 กรรมวิธีค่าศูนย์กลาง ซึ่งเป็นวิธีการ DEFUZZIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.4 กรรมวิธีเชิงเกิดต้น : ตั้งเคราะห์เอา output เดียว อดัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทคนิคพิเศษของแบบกรรมวิธีค่าศูนย์กลางหรือจะเรียกอีกอย่างคือกรรมวิธี Remaining Combination Defuzzification วิธีนี้เป็นการนำ output ของแต่ละ Fuzzy มาใช้ใหม่เป็นค่า output ค่าโดยใช้ค่านำหนักเฉลี่ย จากการกระทำรวมกันหลายๆ อย่าง วิธีนี้ได้ค่าความถูกต้องน้อยกว่ากรรมวิธีค่าศูนย์กลางและยังคงต้องการการการซ้อนทับกันของ input ฟังก์ชันเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงความไม่ต่อเนื่องของ output ด้วยหลักการและคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก

## 1.5 ทฤษฎี Fuzzy Control

ระบบควบคุมแบบ Fuzzy มีพื้นฐานแนวความคิดมาจากทฤษฎี Fuzzy Logic และทฤษฎี Fuzzy Sets

ทฤษฎี Fuzzy Sets คือยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิก ซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีเซตดั้งเดิม (Crisp Set) ทฤษฎีเซตดั้งเดิมจะเน้นชัดเจนเลยว่าเป็นสมาชิกของเซตหรือไม่เท่านั้น ไม่มีการสมาชิกของเซตเพียงบางส่วน

ทฤษฎี Crisp Sets มีหลักการดังนี้

### 1. การเป็นสมาชิกของเซต

“ถ้า  $X$  เป็นสมาชิกของเซต  $A$ ” เราจะใช้สัญลักษณ์

$$X \in A$$

“ถ้า  $X$  ไม่เป็นสมาชิกของเซต  $A$ ” เราจะใช้สัญลักษณ์

$$X \notin A$$

ซึ่งใน Crisp Set เราจะระบุชัดเจนว่าสมาชิกของ Universe เป็นสมาชิกของเซต  $A$  หรือไม่ เราสามารถแทนค่าระดับการเป็นสมาชิก (Membership function) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_A$  ดังนี้

$$\mu_A(X) = 1 \quad \text{ก็ต่อเมื่อ } X \in A$$

$$\mu_A(X) = 0 \quad \text{ก็ต่อเมื่อ } X \notin A$$

### 2. การเป็นสับเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต  $A$  เป็นสมาชิกของเซต  $B$  เป็นสับเซตของเซต  $B$ ” เราจะใช้สัญลักษณ์การเป็นสับเซต ดังนี้

$$A \subseteq B$$

### 3. การเท่ากันของเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต  $A$  เท่ากับสมาชิกทุกตัวของเซต  $B$  จะเรียกว่าเซต  $A$  เท่ากับเซต  $B$ ” เราจะใช้สัญลักษณ์การเท่ากันดังนี้

$$A = B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. การไม่เท่ากันของเซต

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A, ไม่เท่ากับสมาชิกทุกตัวของเซต B จะเรียกว่า เซต A ไม่เท่ากับเซต B” เราใช้สัญลักษณ์การไม่เท่ากันดังนี้

$$A \neq B$$

## 5. การเป็นสับเซตแท้

“ถ้าสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสับเซตของเซต B จะเรียกว่าเซต A เป็นสับเซตแท้ของเซต B” เราใช้สัญลักษณ์การเป็นสับเซตแท้ดังนี้

$$A \subset B$$

## 6. การปฏิบัติการเบื้องต้นของเซต ได้แก่

- Complement เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตใหม่จะไม่ใช่สมาชิกของเซต A เลย  
Complement  $A = A'$
- Union เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตใหม่จะมีสมาชิกของทุกเซตรวมอยู่
- Intersection เป็นการสร้างเซตใหม่โดยสมาชิกของเซตใหม่จะมีสมาชิกซึ่งเป็นสมาชิกของทุกเซต

## ทฤษฎี Fuzzy Sets มีหลักการดังนี้

## 1. การเป็นสมาชิกของ Fuzzy Sets

ในระบบ Crisp Sets จะกำหนดเพียงว่า X เป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซต A โดยแทนด้วยฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็น 0 หรือ 1 แต่ Fuzzy Set จะยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะที่ถูกเพียงบางส่วนและผิดเพียงบางส่วนไม่มีขอบเขตแน่นอน การประยุกต์ใช้ทฤษฎี FUZZY SET จะต้องแสดงค่าระดับ (Degree) ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้ที่จะเป็นสมาชิก ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงดังนี้

$$\mu_A(X) \rightarrow [0,1]$$

หมายความว่า ระดับการเป็นสมาชิก (Grade of Membership หรือ Degree of Membership) ของ X ใน Fuzzy เซตอยู่ในช่วงทั้งหมดจาก 0 ถึง 1 เมื่อประยุกต์เข้ากับ Fuzzy Logic ค่า  $\mu$  จะถูกเรียกว่า ค่าความจริงที่แสดงค่าระดับขอบเขตของเซต คือ

$$0 \leq x \leq 1$$

โดยถ้าค่าสูงแสดงว่ามีความเป็นสมาชิกมาก, ถ้าค่าต่ำแสดงว่ามีความเป็นสมาชิกน้อย, ค่า 0 จะหมายถึงไม่เป็นสมาชิกเลยและ 1 คือเป็นสมาชิกอย่างสมบูรณ์

## 2. นิยามที่ Fuzzy Sets ขยายมาจาก Crisp Set

-Fuzzy Set A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อ  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$  สำหรับทุกๆ x ใน X เขียนแทนด้วย

$$A = B$$

-Subset หรือ Containment นิยามโดย

$$A \subset B \leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

-Complement ของ Fuzzy Set A เขียนแทนด้วย  $A'$  นิยามโดย

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

-Union ของ Fuzzy Set A และ B ซึ่งมีฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก  $\mu_A(x)$  และ  $\mu_B(x)$  ตามลำดับสามารถแทนด้วย Fuzzy Set C กำหนดโดย

$$\mu_C(x) = \text{Max}[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

หรืออาจเขียนย่อเป็น

$$\mu_C = \mu_A \vee \mu_B$$

-Intersection ของ Fuzzy Set A และ B ซึ่งมีฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก  $\mu_A(x)$  และ  $\mu_B(x)$  ตามลำดับสามารถแทนด้วย Fuzzy Set กำหนดโดยฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก ของ Fuzzy Set กำหนด โดย

$$\mu_C(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

หรืออาจเขียนเป็น

$$\mu_C(x) = \mu_A \wedge \mu_B$$

อย่างไรก็ตามไม่มีหลักตายตัวว่าการ Union ต้องใช้ Max Operation, การ Intersection ต้องใช้ Min Operation หรือ การ Complement ต้องใช้  $\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$  ดังนั้นเพื่อให้ General มากยิ่งขึ้น จึงมีนิยามสัจพจน์(Axiom) ปฏิบัติการแต่ละชนิด ดังนี้

-Complement C :  $[0,1] \rightarrow [0,1]$

Axiom C<sub>1</sub> : C(0) = 1 และ C(1) = 0 หมายความว่าสามารถครอบคลุมคติขเซต

Axiom C<sub>2</sub> : สำหรับทุกๆ  $a, b \in [0,1]$  ถ้า  $a < b$  แล้ว  $C(a) \geq C(b)$

ทุกๆ การปฏิบัติการที่จะถือว่าเป็นการ Complement ได้อย่างน้อยที่สุดจะต้องสอดคล้องกับสัจพจน์ทั้งสอง

- Union U :  $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

Axiom U<sub>1</sub> : U(0,0) = 0; U(0,1) = U(1,0) = U(1,1) = 1 หมายความว่าจะต้องสามารถ

ครอบคลุม Crisp Sets

Axiom U<sub>2</sub> : U(a,b) = U(b,a) ; มีคุณสมบัติการสลับที่

Axiom U<sub>3</sub> : ถ้า  $a \leq a'$  และ  $b \leq b'$  แล้ว  $U(a,b) \leq U(a',b')$

Axiom U<sub>4</sub> : (U(a,b),c) = 0; U(a,U(b,c)) ; มีคุณสมบัติการจัดหมู่ทุกๆ การปฏิบัติที่จะถือว่าเป็นการ Union ได้อย่างน้อยที่สุดที่จะต้องสอดคล้องกับสัจพจน์ทั้งสิ้น

-Intersection I :  $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Axiom  $I_1$  :  $I(1,1) = I(0,1) = I(1,0) = I(0,0) = 0$  หมายความว่า จะต้องสามารถครอบคลุมกรณีพิเศษ

Axiom  $I_2$  :  $I(a,b) = I(a,b)$  ; มีคุณสมบัติการสลับที่

Axiom  $I_3$  : ถ้า  $a \leq a'$  และ  $b \leq b'$  แล้ว  $I(a,b) \leq I(a',b')$  หมายความว่า  $I$  เป็น Monotonic

Axiom  $I_4$  :  $I(I(a,b),c) = I(a,I(b,c))$ ; มีคุณสมบัติการจัดหมู่

ทุกๆการปฏิบัติที่จะถือว่าเป็นการ Intersection ได้อย่างน้อยที่สุดจะต้องสอดคล้องสัจพจน์ทั้งสี่

### ทฤษฎี Fuzzy Logic

Fuzzy Logic จะมีการกระทำทางลอจิกเพื่อรวมค่าลอจิกต่างๆ ให้เป็นค่าฟัซซี่ลอจิกคล้ายตัวแปรในระบบลอจิก 2 ระดับ โดยจะต้องมีกำหนดลักษณะความหมายให้แตกต่างกันแต่ใช้คำสั่งทางลอจิกที่เหมือนกันคือ AND, OR และ NOT ความหมายต่างๆ ในระบบฟัซซี่ถูกกำหนดโดย

L.A. Zadeh ผู้คิดค้นระบบ FUZZY LOGIC

#### 1. การ AND ของ Fuzzy Logic

คือค่าความจริงที่น้อยที่สุด (Minimum) นั่นคือ สำหรับค่า Fuzzy A และ B

$$\mu(A \text{ AND } B) = \min(\mu_A, \mu_B)$$

#### 2. การ OR ของ Fuzzy Logic

คือ ค่าความจริงเป็นค่ามากที่สุด (Maximum)

$$\mu(A \text{ OR } B) = \max(\mu_A, \mu_B)$$

#### 3. การ NOT ของค่า Fuzzy Logic

$$\mu(\text{NOT } A) = 1 - \mu_A$$

ซึ่งการกระทำทั้งสามนี้เป็นสมมูลของการกระทำในลอจิก 2 ระดับ ( $0 \leq \mu \leq 1$ )

### 1.6 ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมโดยใช้ FUZZY

ข้อดีของการควบคุมโดยใช้ FUZZY

1. Fuzzy Control สามารถออกแบบโดยนำข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีลักษณะไม่ชัดเจนมาใช้ได้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ ซึ่ง Controller แบบเก่านั้นไม่สามารถนำข้อมูลแบบภาษามนุษย์ (Linguistic Description) มาใช้ได้

2. Fuzzy Control เป็น Model-free approach ไม่ต้องการ Mathematical Model

3. Fuzzy Control สามารถควบคุมระบบ Nonlinear ได้ โดยอาศัยการปรับแต่งค่า Parameter โดยทฤษฎี Universal Approximation Fuzzy Logic Controller ให้เหมาะสม

4. เข้าใจง่ายเนื่องจาก Fuzzy Control เป็นการเลียนแบบวิธีการควบคุมของมนุษย์ ไม่ต้อง

เอกสารใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ย่างยากงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Implement ระบบได้ง่าย โดยเฉพาะในส่วนของ Fuzzy Logic ทำให้การสร้าง Fuzzy Controller ทำได้ง่ายและรวดเร็ว

6. ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบไม่มากนัก ใช้เวลาในการเรียนรู้ไม่มากนัก และมี Software Tools สำหรับการออกแบบ Fuzzy Controller

ข้อเสียของการควบคุมโดยใช้ FUZZY

1. ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญอย่างมากในการกำหนด ลักษณะกราฟของ MF และเงื่อนไขการควบคุม

2. ถ้าการกำหนดเงื่อนไขการควบคุมไม่ละเอียดพอ การควบคุมจะไม่สามารถเข้าสู่สภาวะ Steady Stage ได้ แต่จะเกิดการ Oscillate อยู่บริเวณใกล้จุด Set Point

1.7 ตัวอย่าง Temperature Control by Fuzzy

ขั้นตอนที่ 1. FUZZICATION

กำหนดนิยามของ Input และ Output ในรูป Fuzzy Set ให้มี Label = 7 คือ

- NL = Negative Large
- NM = Negative Medium
- NS = Negative Small
- ZR = Zero
- PS = Positive Small
- PM = Positive Medium
- PL = Positive Large

สร้างกราฟความสัมพันธ์ของ input และ output ซึ่งนิยามโดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในระบบที่ทำการควบคุม ดังรูปที่ 1-4 ( MF of Temp.Control)

ขั้นตอนที่ 2. INFERENCE RULES

สร้างเงื่อนไขการควบคุมโดยใช้กฎ IF/THEN Rules ดังรูปที่ 1-5

เขียน Matrix Display System for Inference ดังรูปที่ 1-6

ขั้นตอนที่ 3. DEFUZZIFICATION

ใช้วิธี Center of Gravity หาค่า Control Signal

1.8 การประยุกต์ใช้งาน โดยการใช้ Fuzzy Control

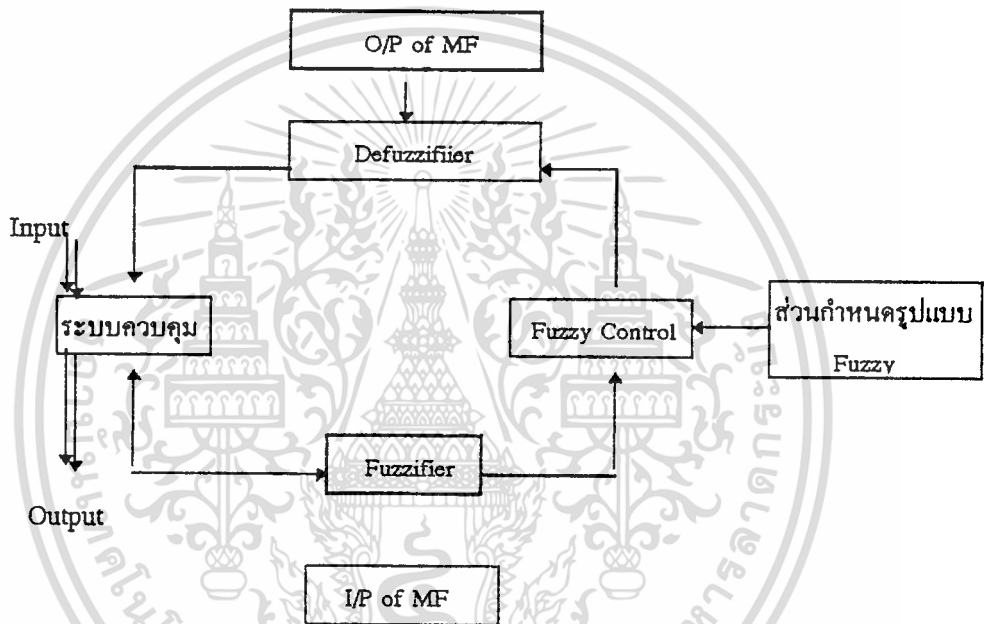
การใช้ Fuzzy เป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

เราสามารถเลือกค่า output ของระบบ Fuzzy และใช้มันเป็นค่า input เพื่อเป็นตัวควบคุม

แบบป้อนกลับ (Feedback Control) ดังรูปที่ 1-4 ในระบบ Fuzzy ค่าของ Input Fuzzy จะใช้เป็น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกำหนดรูปแบบ โดยที่ส่วนกำหนดรูปแบบนี้จะปฏิบัติตามค่า input เมื่อมันทำการรวมและทำการแปลงค่า Fuzzy กลับคืนจากค่าที่อ่านได้จากส่วนกำหนดรูปแบบเพื่อใช้เป็นค่าควบคุม output 1 ค่า หรือ มากกว่า

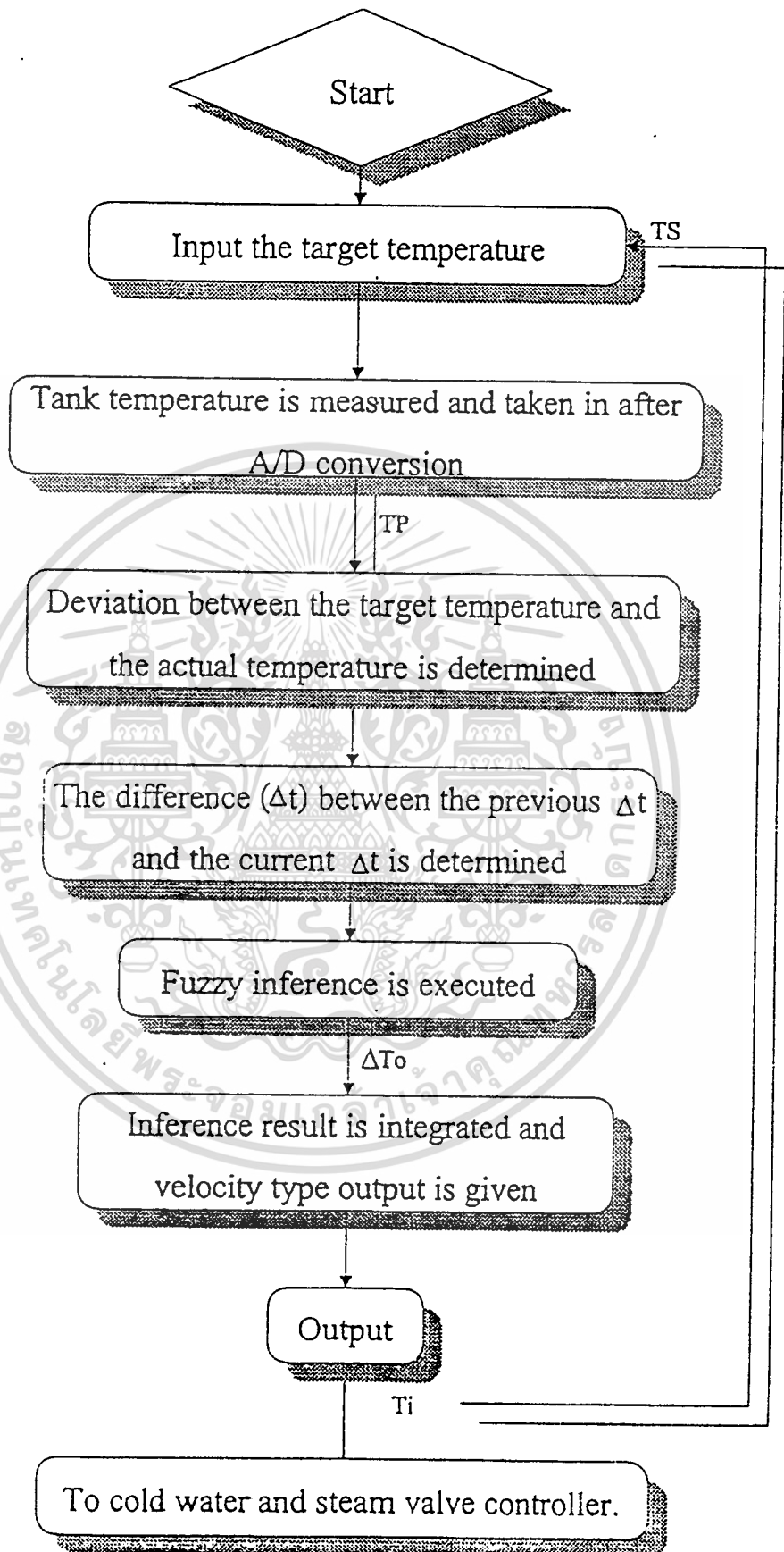
Fuzzy Logic ถูกปรับปรุง และนำไปใช้งานต่างๆ ในหลาย ๆ ทาง ซึ่งรวมทั้งการแบ่งประเภทของเขตสภาพอากาศ พฤติกรรมของนกนางนวล การควบคุมการเผาปูนซีเมนต์ จำนวนผู้โดยสารในรถไฟ ลิฟต์ การจัดการตารางของการใช้รางรถไฟ และเทคนิคการบริการอื่นๆ และยังคงมีการคิดค้นใหม่ๆ เพิ่มขึ้นเพื่อปรับปรุงวิธีการใช้ระบบพื้นฐานของ Fuzzy เช่น การแก้ไขฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก ความสม่ำเสมอของส่วนกำหนดรูปแบบ Fuzzy เป็นต้น



รูปที่ 1-4 การใช้ Fuzzy ในการควบคุมระบบป้อนกลับ

Fuzzy logic เหมาะที่จะนำไปใช้กับระบบที่มีลักษณะดังนี้

1. มีรูปแบบระบบที่ซับซ้อน ยุ่งยาก หรือทำให้เกิดความชัดเจนได้ยาก
2. เป็นระบบที่ถูกควบคุมโดยผู้เชี่ยวชาญ
3. มี input , output ซับซ้อนมาก มีค่าฟังก์ชันไม่คงที่ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องพอสมควร
4. เป็นระบบที่ใช้คนคอยสังเกตขณะที่ระบบกำลังทำงาน
5. เป็นระบบที่ไม่แน่นอนต่างๆ ไป เช่น ระบบเศรษฐกิจ



## บทที่ 2

### ระบบควบคุม PROPORTIONAL- INTEGRAL-DERIVATIVE CONTROL ( PID CONTROL)

2.1 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน Proportional Controller (P)  
เป็นเครื่องแบบเครื่องควบคุมที่ง่ายที่สุด โดยยกเว้นเครื่องควบคุมแบบเปิด-ปิดสมการที่อธิบายการทำงาน

$$m(t) = \bar{m} + Kc[r(t) - c(t)] \quad (2.1)$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + Kc.e(t) \quad (2.2)$$

เมื่อ

$m(t)$  = ทางออกของเครื่องควบคุม, psig หรือ mA

$r(t)$  = ค่าเป้าหมาย, psig หรือ mA

$c(t)$  = ตัวแปรที่ถูกควบคุม, psig หรือ mA เป็นสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

$e(t)$  = สัญญาณผิดพลาด, psig หรือ mA เป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปรที่ถูกควบคุม

$Kc$  = อัตราการขยายของเครื่องควบคุม, psi / psi, mA / mA

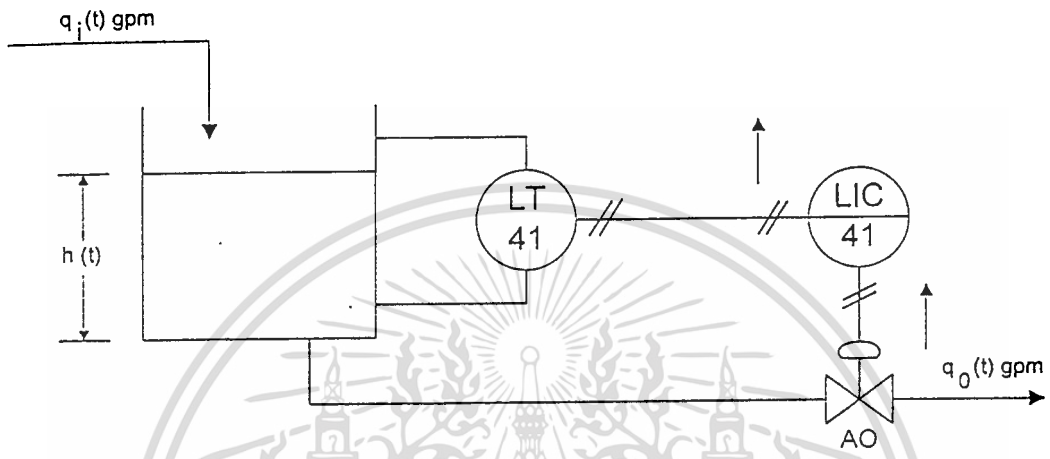
$\bar{m}$  = ค่าไบอัส, psig หรือ mA เป็นค่าทางออกของเครื่องควบคุมเมื่อสัญญาณผิดพลาดเป็นศูนย์ค่านี้ปกติจะถูกตั้งไว้ในระหว่างการปรับเทียบกับเครื่องอยู่ที่กึ่งกลางสเกล คือ 9 psig หรือ 12 mA

โดยที่พิกัดทางเข้าและทางออกนั้นเหมือนกัน (3-15 psig หรือ 4-20 mA) และสัญญาณทางเข้าและสัญญาณทางออกตลอดจนค่าเป้าหมายเหมือนกัน ซึ่งในบางครั้งอาจจะเป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของพิกัด มันเป็นเรื่องที่น่าสนใจในสมการที่ (2.1) ที่ถูกเขียนขึ้นมาสำหรับเครื่องควบคุมที่เป็นกริยาทางออกแบบกลับ คือถ้าตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเหนือค่าเป้าหมายและค่าผิดพลาดกลายเป็นค่าลบ จากสมการแสดงให้เห็นว่าทางออกของเครื่องควบคุมนั้นได้ลดลงในทางที่จะแสดงให้เห็นถึงเครื่องควบคุมที่เป็นกริยาทางออกแบบตรง ในทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้โดยการให้อัตราการขยายของเครื่องควบคุมที่เป็นลบ แต่เราจะต้องจำไว้ว่าอย่างหนึ่งในเรื่องเครื่องควบคุมในอุตสาหกรรมจะไม่มีอัตราการขยายที่เป็นค่าลบแต่จะมีเฉพาะค่าบวกอย่างเดียว สวิตซ์เลือกแบบกลับ/แบบตรง จึงได้ถูกนำมาใช้สำหรับอัตราการขยายที่เป็นลบถูกใช้เมื่อมีการกระทำทาง

คณิตศาสตร์ของระบบควบคุมเพื่อที่จะวิเคราะห์เครื่องควบคุมทางกริยาทางออกแบบตรงโยชน์ด้านการค้า

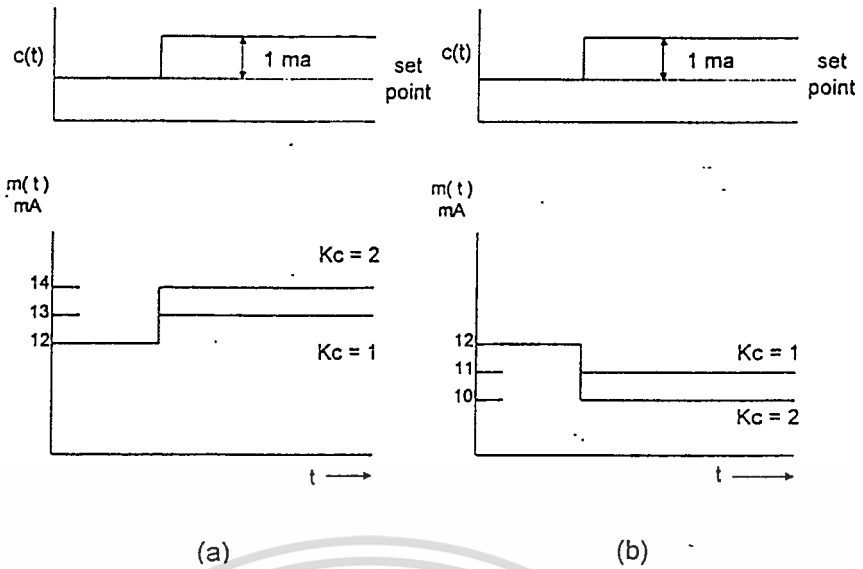
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.1) และ (2.2) แสดงให้เห็นทางออกของเครื่องที่เป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปรที่ถูกควบคุม ความเป็นสัดส่วนนี้ถูกกำหนดโดยค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุม อัตราการขยายหรือความไวของเครื่องควบคุมนี้เองที่จะบอกให้รู้ว่าทางออกจะมีขนาดมากเท่าใดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าที่เกิดขึ้นอันนี้จะแสดงได้ในรูปที่ 2-2

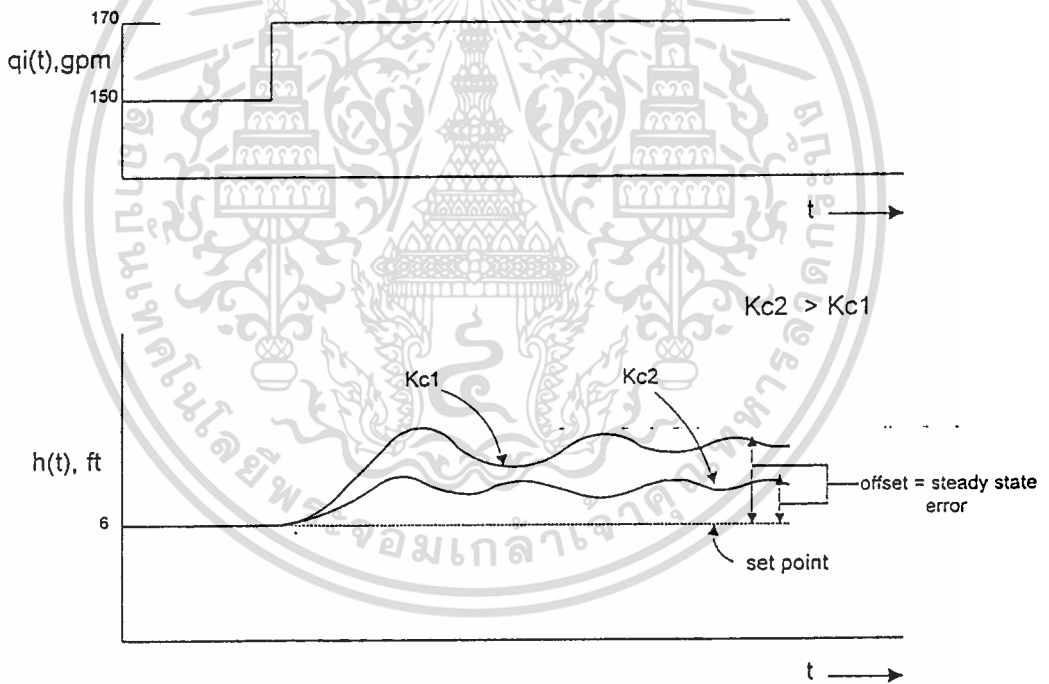


รูปที่ 2-1 วงรอบการควบคุมของระดับของเหลว

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวมีข้อดีคือมีตัวปรับค่าอัตราการขยายเพียงตัวเดียว อย่างไรก็ตามข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนนั้น ในการทำงานจะเกิดค่าผิดพลาดที่สถานะคงที่ (Steady-State Error) OFFSET เพื่อที่จะแสดงสถานะคงที่เป็กราฟพิจารณาวงรอบการควบคุมระดับของเหลวในรูปที่ 2-1 กำหนดให้เงื่อนไขการทำงานที่  $\bar{q}_i = \bar{q}_o = 150 \text{ gpm}$  และ  $\bar{h} = 6 \text{ ft}$  เพื่อที่จะให้ค่าที่ทางออกของวาล์วเป็น  $150 \text{ gpm}$  จะต้องให้แรงดันลมแก่วาล์ว  $9 \text{ psig}$  แต่ถ้าอัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นผลตอบสนองของระบบร่วมกับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนแสดงดังรูปที่ 2-3 เครื่องควบคุมได้นำค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับเข้าสู่สถานะคงที่แต่ค่าที่สถานะคงที่นี้จะไม่ใช่ค่าที่จุดเป้าหมาย ความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าที่สถานะคงที่ของตัวแปรที่ถูกควบคุมคือออฟเซ็ท รูปที่ 2-3 แสดงให้เห็นผลตอบสนองของค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมทั้งสองค่าที่แตกต่างกันของอัตราการขยายที่ถูกปรับเปลี่ยน จะพบว่าค่าอัตราการขยายของเครื่องควบคุมที่มากจะให้ค่าออฟเซ็ทน้อยแต่จะเกิดการแกว่งมากกว่า อย่างไรก็ตามจะมีค่าที่มากที่สุดของอัตราการขยายของเครื่องควบคุมที่ทำให้กระบวนการเข้าสู่ความไม่เสถียรภาพการคำนวณค่าที่มากที่สุดของอัตราการขยายนี้เรียกว่า *Ultimate gain*



รูปที่ 2-2 ผลของอัตราขยายในเครื่องควบคุมต่อทางออกของเครื่องควบคุม  
 a) เครื่องควบคุมกริยาทางออกแบบตรง b) เครื่องควบคุมกริยาทางออกแบบกลับ



รูปที่ 2-3 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว

การพิจารณาระบบควบคุมระดับของเหลวเดียวกันนี้ในรูปที่ 2-1 ด้วยเงื่อนไขของการทำงานเหมือนเดิม และจำไว้ว่าอย่างหนึ่งว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวที่กริยาทางออกแบบตรงนั้น อัตราการขยายเป็นลบ ( $-K_c$ ) คูสมการต่อไปนี้

$$m(t) = 9 + (-K_c).e(t) \quad (2.3)$$

ตอนนี้กำหนดให้อัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 170 gpm เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วระดับของเหลวจะต้องเพิ่มขึ้นจากนั้น เครื่องควบคุมจะส่งสัญญาณทางออกไปเปิดวาล์วเพื่อที่จะทำให้ระดับของเหลวกลับเข้าสู่สภาวะคงที่ในตำแหน่งเดิม อัตราการไหลทางออกตอนนี้จะต้องเป็น 170 gpm เพื่อที่จะให้วาล์วผ่านอัตราไหลค่าใหม่ที่เพิ่มขึ้นกว่าเดิม วาล์วที่ใช้เป็นแบบแรงดันเพื่อเปิด สมมติให้ค่าแรงดันค่าใหม่ที่กระทำกับวาล์วนี้เป็น 10 psig นั่นคือเครื่องควบคุมจะต้องให้ทางออกเป็น 10 psig แก้วาล์ว มองกลับไปทีสมการ (2.3) จะเห็นว่ามียังเหมือนเท่านั้นที่ทางออกของเครื่องควบคุมเท่ากับ 10 psig ได้ก็ต่อเมื่อเทอมที่สองทางขวามือจะต้องเป็น +1 psig และในเทอมค่าผิดพลาดไม่สามารถที่จะเป็นศูนย์ที่สภาวะคงที่ได้ และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ก็คือออฟเซ็ท ค่าผิดพลาดที่เป็นลบอันเนื่องมาจากค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย

มีจุดอยู่สองจุดที่น่าสนใจในตัวอย่างนี้ อันแรกคือขนาดของเทอมความผิดพลาดขึ้นอยู่กับค่าอัตราการขยายของเครื่องที่ควบคุม โดยที่ทั้งเทอมรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ +1 psig ดังนี้

-KC	-e(∞)(Offset)
1	1
2	0.5
4	0.25

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอัตราการขยายที่มักจะมีออฟเซ็ทน้อย ผู้อ่านจะต้องจำไว้ว่าอัตราการขยายที่มากกว่าขอบเขตอันหนึ่งแล้วจะทำให้ขบวนการเข้าสู่ความไม่เสถียรภาพ

อันดับที่สอง เพื่อเป็นการสรุปในตัวอย่างนี้ จะเห็นว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวนี้จะพยายามทำหน้าที่โดยให้การเปลี่ยนแปลงนั้นเข้าสู่สภาวะคงที่ และจำนวนของความเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายหรือออฟเซ็ทขึ้นอยู่กับอัตราการขยายของเครื่องควบคุม

ผู้ผลิตเครื่องควบคุมส่วนมากจะไม่ใช้เทอมของอัตราการขยายเพื่อที่จะบ่งบอกความไวของเครื่องควบคุมแต่จะใช้เทอมของ Proportional Band (PB) โดยจะเป็นความสัมพันธ์กับอัตราการขยายคือ

$$PB = \frac{100}{Kc} \quad (2.4)$$

ดังนั้น สมการที่ได้อธิบายสำหรับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเขียนใหม่ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + \frac{100}{PB} (r(t) - c(t)) \quad (2.5)$$

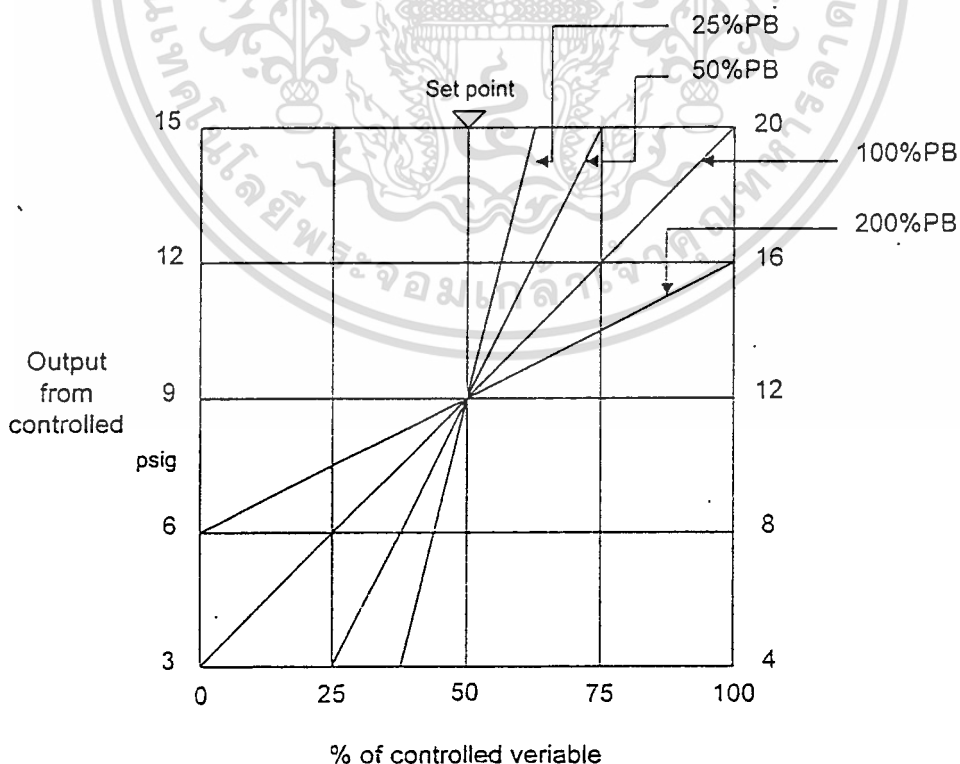
หรือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m(t) = \bar{m} + \frac{100}{PB} e(t) \quad (2.6)$$

เทอม 100 ถูกนำมาใช้เพราะว่า PB โดยปรกติจะอ้างถึง Percent Proportional Band

สมการ (2.6) แสดงให้เห็นจริงว่าอัตราการขยายมากก็เหมือนกับมี Proportional Band ต่ำ หรือแคบ และถ้าอัตราการขยายต่ำแล้วจะเหมือนกับมี Proportional Band มากหรือกว้าง นั่นก็หมายความว่าก่อนที่จะเริ่มใช้งานเครื่องควบคุมอย่างน้อยที่สุดก็จะต้องรู้ว่าเครื่องควบคุมนี้มีการปรับแบบอัตราการขยายหรือปรับ Proportional Band

คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งของ Proportional Band ก็คือจะมองที่ผิดพลาด (ที่กระจายอยู่ในเทอมของเปอร์เซ็นต์พิคคของตัวแปรที่ถูกควบคุม) ที่ต้องการที่จะเคลื่อนค่าที่ทางออกของเครื่องควบคุมจากค่าที่ต่ำสุดไปสู่สูงสุด พิจารณาวงรอบการควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ส่งสัญญาณมีพิคคจาก 100-3000 องศาเซลเซียสและค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส รูปที่ 2-4 จะแสดงกราฟที่เป็นคำจำกัดความของ PB ในรูปนี้แสดงค่า PB 100% ก็แสดงว่าค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 100% ของพิคค ถ้า PB 50% เช่นเดียวกันก็แสดงว่าค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 50% ของพิคค และถ้า PB 200% ถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 200% ของพิคค แต่อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวเครื่องนี้ไม่สามารถที่จะให้ค่าทางออกเกินกว่าพิคคที่เป็นอยู่ได้ PB 200% จะหมายถึงว่าความไว้น้อยมากต่อความผิดพลาดหรืออัตราการขยายน้อยกว่านั่นเอง



	Controller output		
	3 psig	9 psig	5 psig
	4 mA	2 mA	20 mA
PB = 100%	100 C	200 C	300 C
- PB = 50%	150 C	200 C	300 C
PB = 25%	175 C	200 C	300 C
PB = 200%		200 C	300 C

รูปที่ 2-4 คำจำกัดความของ Proportional Band

เพื่อที่จะหาฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว สามารถจะเขียนได้  
ดังนี้

$$m(t) - \bar{m} = Kc.(e(t) - 0) \quad (2.7)$$

กำหนดตัวแปรเบี่ยงเบนดังนี้

$$M(t) = m(t) - \bar{m} \quad (2.8)$$

$$E(t) = e(t) - 0 \quad (2.9)$$

ดังนั้น

$$M(t) = Kc.E(t) \quad (2.10)$$

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc \quad (2.11)$$

สรุปได้ว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวนั้นเป็นชนิดที่ง่ายมากด้วยข้อดีที่มีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวในการปรับแต่งอัตราขยายหรือ PB ส่วนข้อเสียก็คือว่าการทำงานของเครื่องควบคุมแบบนี้จะเกิดออฟเซตแก่ตัวแปรที่ถูกควบคุมอยู่ในขอบเขตของค่าเป้าหมาย อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ตัวแปรที่ถูกควบคุมแบบสัดส่วนสามารถจะควบคุมได้เป็นกระบวนการที่ตัวแปรที่ถูกควบคุมอยู่ในขอบเขตของค่าเป้าหมาย อย่างไรก็ตามกระบวนการที่การควบคุมจะต้องอยู่ที่ค่าเพียงค่าเดียวนั้น เครื่องควบคุมดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้



## 2.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอินทิกรัล Proportional-Integral Controller (PI)

กระบวนการส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะควบคุมให้เกิดค่าออฟเซตได้โดยค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะต้องอยู่ที่ค่าเป้าหมาย เลยจำเป็นจะต้องมีเทอมบางเทอมที่ชาญฉลาดกระทำร่วมกับการทำงานแบบสัดส่วนอย่างเดียวของเครื่องควบคุมเพื่อที่จะขจัดค่าออฟเซตออกไป และเทอมที่ชาญฉลาดอันนี้เองคือ กริยาอินทิกรัลหรือรีเซต เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมก็จะกลายเป็นแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลโดยได้ถูกจำกัดความไว้ในสมการดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + Kc[r(t) - c(t)] + \frac{Kc}{\tau} \int [r(t) - c(t)] dt \quad (2.12)$$

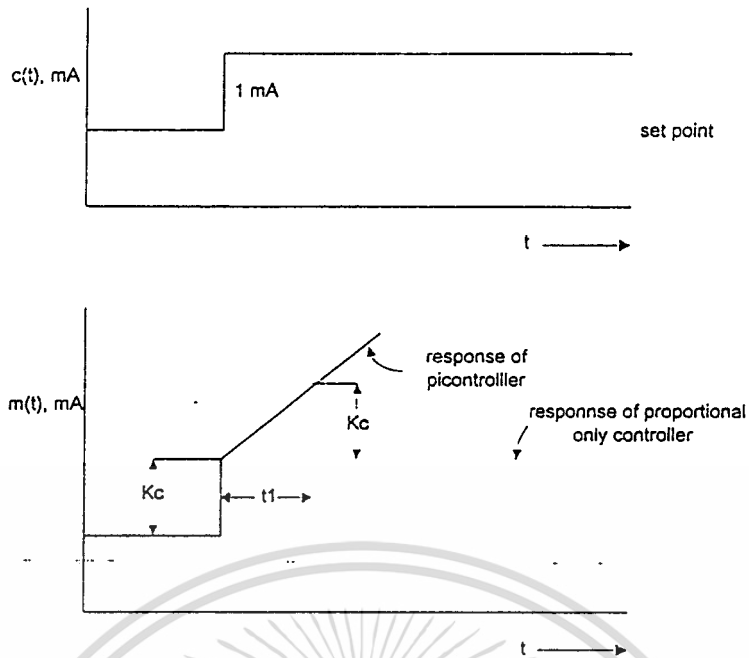
$$m(t) = \bar{m} + Kc[r(t) - c(t)] + \frac{Kc}{\tau} \int e(t) dt \quad (2.13)$$

เมื่อ

$\tau_i$  = เวลาในการอินทิเกรตหรือเวลารีเซต, นาที/จำนวนครั้ง

เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมแบบ PI จะมีสองพารามิเตอร์คืออัตราขยายและเวลาในการอินทิเกรต ซึ่งจะต้องถูกปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะให้เข้าใจคุณลักษณะของเวลารีเซต  $\tau_i$  โดยพิจารณาจากตัวอย่างสมมติที่แสดงในรูปที่ 2-5  $\tau_i$  คือเวลาที่จะทำให้เครื่องควบคุมกระทำกริยาแบบสัดส่วนที่ซ้ำกัน โดยหน่วยของเวลาอันนี้เป็นนาที/จำนวนครั้ง ค่าเวลาที่เล็กของ  $\tau_i$  จะทำให้เส้นโค้งของผลตอบสนองนั้นชันมาก ซึ่งจะหมายความว่า เป็นผลตอบสนองที่เร็วอีกทางหนึ่งที่ใช้ขยายความโดยดูที่สมการ (2.13) ค่าของ  $\tau_i$  ที่เล็กจะเป็นค่าที่มากในเทอมอยู่น้ำอินทิเกรต และจะเป็นตัวคูณของกริยาอินทิเกรตหรือรีเซต

ต่อไปเราจะมาดูระบบควบคุมระดับของเหลวอีกครั้งที่จะถูกใช้สำหรับอธิบายว่าทำไมออฟเซตจึงเกิดขึ้น เมื่ออัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 170 gpm อัตราการไหลทางออกก็จำเป็นจะต้องพยายามให้เป็น 170 gpm เพื่อให้มีอัตราไหลผ่านที่วาล์ว 170 gpm วาล์วจะต้องเปิดกว้างโดยมีแรงดันลมเพื่อเปิดเป็น 10 psig ด้วยเครื่องควบคุมแบบ PI ไม่ว่าจะค่าผิดพลาดจะเกิดด้วยเครื่องควบคุมในการแก้ความผิดพลาดและความผิดพลาดนั้นก็หมดไป เมื่อค่าผิดพลาดหมดไปแล้วทางออกของเครื่องควบคุมจะอยู่ในสภาวะ



รูปที่ 2-5 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบ PI (แบบกริยาทางออกตรง) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดแบบเป็นขั้น

$$m(t) = \bar{m} + \frac{K_c}{\tau_i} \left( \int 0 dt \right) \tag{2.14}$$

ในความเป็นจริงแล้วถ้าความผิดพลาดเป็นศูนย์ไม่ได้หมายความว่าเทอมอินทิเกรตจะเป็นศูนย์ด้วย แต่จะหมายถึงเครื่องควบคุมกำลังอินทิเกรตค่าผิดพลาดที่เป็นศูนย์โดยการบวกด้วยศูนย์เข้าไปที่ทางออกซึ่งยังคงที่อยู่ สำหรับกระบวนการระดับของเหลวนี้อินทิเกรตเทอมจะมีค่าเท่ากับ 1 psig เพราะฉะนั้นทางออกของเครื่องควบคุมจะเป็น 10 psig โดยปราศจากค่าผิดพลาดและที่เกิดขึ้นนี้ได้เป็นการขยายความว่าทำไมกริยารีเซ็ตให้ขจัดออฟเซ็ทออกไปได้

$$\frac{K_c}{\tau_i} \int 0 dt \tag{2.15}$$

บางทีผู้ผลิตจะไม่ใช้เทอมของเวลารีเซ็ต  $\tau_i$  สำหรับเป็นค่าปรับแต่งแต่จะใช้อัตรากรรีเซ็ต Reset Rate

$$\frac{R}{I} = \frac{I}{\tau_i} \quad , \text{ จำนวนครั้ง/นาที} \tag{2.16}$$

เพราะฉะนั้นก่อนที่จะทำการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องรู้ว่าเครื่องควบคุมใช้ค่าของเวลารีเซ็ตหรืออัตรากรรีเซ็ต ต่อไปจะขอแสดงสำหรับเครื่องควบคุมแบบ PI ในอุตสาหกรรมที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้

Foxboro Co.

$$m(t) = \bar{m} + \frac{100}{PB} e(t) + \frac{100}{PB \cdot \tau_i} \int e(t) dt \tag{2.17}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fisher Controls

$$m(t) = \bar{m} + \frac{100}{PB} e(t) + \frac{100\tau}{PB} \frac{R}{I} \int e(t) dt \quad (2.18)$$

Taylor Co.Honeywell,Inc.

$$m(t) = \bar{m} + Kc.e(t) + Kc.\tau \frac{R}{I} \int e(t) dt \quad (2.19)$$

สิ่งที่น่าสนใจคือ Honeywell ได้ทำการพัฒนาเครื่องควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น TDC 2000 จะใช้สมการ ( 2.13 ) ส่วน Fisher Controls ได้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น PROVOX ใช้สมการ ( 2.16 ) และ (2.17) สมการที่ (2.13) ก็เป็นอันหนึ่งที่มีจุดประสงค์เพื่อเป็นมาตรฐาน โดยสมาคมเครื่องมือวัดแห่งอเมริกา Instrument Society of America (ISA) สิ่งที่สำคัญที่จะต้องจดจำก็คือความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับ Proportional Band และความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีเซ็ตกับอัตรารีเซ็ต

เพื่อที่จะหาฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับเครื่องควบคุมแบบ PI สมการ (2.13) เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$m(t) - \bar{m} = Kc(e(t) - 0) + \frac{Kc}{\tau} \int (e(t) - 0) dt \quad (2.20)$$

โดยใช้ข้อกำหนดเดิมของตัวแปรที่เบี่ยงเบนในสมการ (2.9) และ (2.10) แปลงลาปลาซจากรูปใหม่จะได้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc \left( 1 + \frac{1}{\tau s} \right) \quad (2.21)$$

สรุปเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิเกรตจะมีสองพารามิเตอร์ที่จะต้องปรับแต่งได้แก่ อัตราขยายหรือ Proportional Band และค่าเวลารีเซ็ต ข้อดีของเครื่องควบคุมแบบนี้ก็คือ กริยาอินทิเกรตหรือรีเซ็ตจะทำการขจัดออฟเซตให้หมดไป

### 2.3 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนกับอินทิกรัลและเดอริเวทีฟ Proportional Integral-Derivative Controller (PID)

โหมคการควบคุมอันใหม่นี้ได้เพิ่มเข้าไปกับเครื่องควบคุมแบบ PI ก็คือ เดอริเวทีฟ หรืออาจเรียกกริยาของอัตราการเปลี่ยนแปลง Rate หรือ Peract จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะเป็นการลดการล้าวงหน้ากระบวนการทำงานโดยมองที่อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของความผิดพลาด ซึ่งมันเป็นค่าของอนุพันธ์สมการที่ใช้อธิบายเป็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

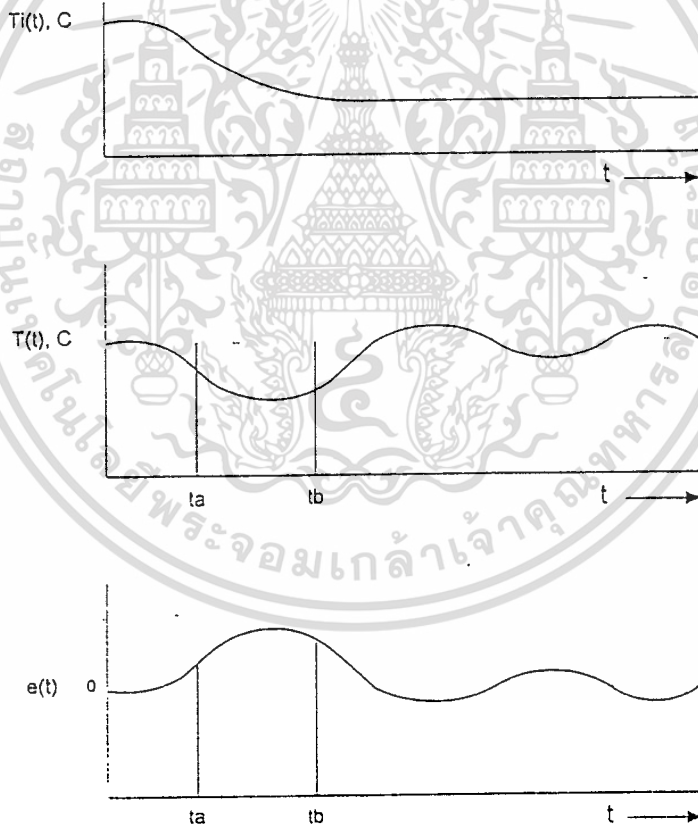
$$m(t) = \bar{m} + K_c \cdot e(t) + \frac{K_c}{\tau} \int e(t) dt + K_c \cdot \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.22)$$

เมื่อ

$\tau_D$  = เคนรีเวทึฟ หรือ อัตราหน่วยเป็นเวลา, นาที

เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมแบบ PID จะมีสามพารามิเตอร์ที่จะปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสม ส่วนค่าเวลาเคนรีเวทึฟจะเป็นหน่วยของเวลาที่ทุกผู้ผลิตต่างใช้เป็นแบบเดียวกันและจากที่กล่าวมากรียาเคนรีเวทึฟจะทำให้เครื่องควบคุมมีความสามารถในการคาดเดาเหตุการณ์ล่วงหน้าได้ด้วยการมองเหตุการณ์ไปข้างหน้า โดยนการคำนวณค่าอนุพันธ์ของความผิดพลาด จำนวนของค่าคาดการณ์จะมากน้อยเท่าใดก็จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของเวลาเคนรีเวทึฟที่ได้ถูกปรับแต่ง

ต่อไปจะพิจารณากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนและใช้เพื่อให้ความหมายของคำว่า การคาดเดาเหตุการณ์ล่วงหน้า สมมติอุณหภูมิทางเข้าของของเหลวในกระบวนการลดลงไปจำนวนหนึ่ง และอุณหภูมิทางออกเริ่มที่จะลดลงที่จะได้แสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 การควบคุมในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

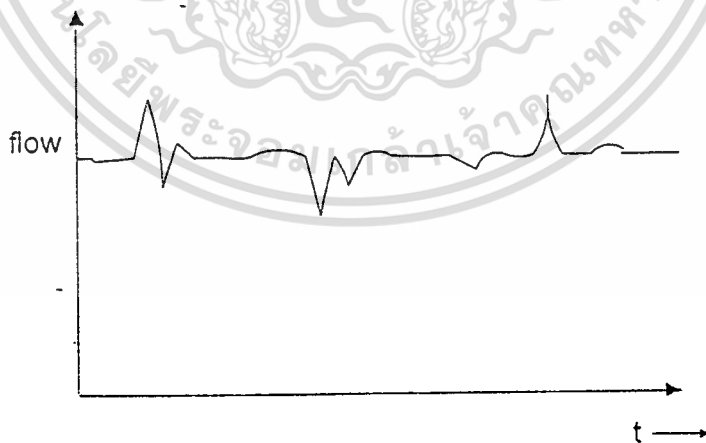
ที่เวลา  $t_c$  จำนวนของค่าผิดพลาดเป็นบวกแต่อาจจะเล็กน้อย จำนวนของการแก้ไขค่าผิดพลาดของระบบควบคุม โดยเฉพาะค่าการแก้ไขแบบสัดส่วนและอินทิกรัลจะน้อย อย่างไรก็ตามค่าเคนรีเวทึฟของของของความผิดพลาดอันนี้โดยสังเกตุจากความชันของความผิดพลาดจะมีค่ามากและเป็นบวกจะเป็นผลให้ค่าการแก้ไขเฉพาะเคนรีเวทึฟนั้นมีค่ามาก เครื่องควบคุมจะรู้ว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวันเวสตาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใจใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าออกจากเป้าหมายด้วยความเร็ว และที่เวลา  $t_c$  ค่าผิดพลาดก็ยังคงเป็นบวกและมากขึ้นกว่าเดิม จำนวนของค่าแก้ไขของแบบสัดส่วนและแบบอินทิกรัลนั้นก็ยิ่งจะมากกว่าแต่ก่อนและก็ยังรวมเข้าไปกับค่าแก้ไขเพื่อที่จะเปิดวาล์วให้กว้างขึ้น แต่ค่าเดอริเวทีฟของความผิดพลาดที่เวลานี้จะเป็นลบ เป็นผลให้ค่าที่แก้ไขก่อนหน้านี้ถูกลดลง นั่นคือตัวแปรที่ถูกควบคุมได้เริ่มที่จะกลับมาสู่ค่าเป้าหมายที่จุดนี้เองค่าเดอริเวทีฟก็เริ่มที่หักค่าแก้ไขของตัวเองออกจากค่าแก้ไขทั้งหมด เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะต้องใช้เวลาที่ยาวนานขึ้นเพื่อที่จะทำให้ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับเข้าหาเป้าหมายอย่างไรก็ตาม การพุ่งเลยขอบเขตและการแกว่งรอบค่าเป้าหมายจะถูกลดลงไป

เครื่องควบคุมแบบ PID ถูกใช้ในกระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่ยาวนาน ยกตัวอย่างเช่นวงรอบการควบคุมของอุณหภูมิและความเข้มข้น กระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่สั้น (ค่าความจุที่น้อย) จะเร็วและอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนในกระบวนการมาก กระบวนการเหล่านี้ได้แก่วงรอบการควบคุมของอัตราไหลและการควบคุมความดันของกระแสของเหลว (ของเหลวที่พุ่งเป็นลำเช่น น้ำพุ) พิจารณาผลการบันทึกของอัตราการไหลดังรูปที่ 2-7 เมื่อนำโหมดเดอริเวทีฟมาใช้โดยจะเห็นว่าเป็นการขยายผลต่อสัญญาณรบกวนเท่านั้นเพราะว่าค่าเดอริเวทีฟจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนซึ่งจะมีค่ามาก กระบวนการที่มีเวลาคงตัวมาก (ค่าความจุที่มาก) โดยปกติจะเป็นแบบถูกหน่วงหรือช้าและไม่ไวต่อสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามถ้าจะใช้เครื่องควบคุมแบบ PID กับกระบวนการอุณหภูมิแล้วก็ต้องตรวจสอบอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไม่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเสียเอง

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบ PID ในอุดมคติจะเป็นในสมการ (2.19)

ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-7 แสดงผลการบันทึกอัตราการไหล

$$m(t) - \bar{m} = Kc(e(t) - 0) + \frac{Kc}{\tau} \int (e(t) - 0) dt + Kc \cdot \tau \frac{d(e(t) - 0)}{dt} \quad (2.23)$$

โดยใช้ข้อกำหนดที่แล้วมาของตัวแปรที่ถูกเบี่ยงเบนด้วยสมการ (2.9) และ (2.10) แปลงลาปลาซและจัดรูปจะได้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc(1 + \frac{1}{\tau_D s} + \tau_D s) \quad (2.24)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้ถูกเรียกว่าเป็นอุดมคติเพราะว่าในทางปฏิบัติในค่าของเดอริเวทีฟเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการคำนวณหา ดังนั้นค่าเดอริเวทีฟจะถูกประมาณโดยใช้ทอมของ นำหน้า/ล่าหลัง ผลที่ได้จะเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใกล้เคียงและแม่นยำกว่า

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc(1 + \frac{1}{\tau_D s})(\frac{\tau_D s + 1}{\alpha \tau_D s + 1}) \quad (2.25)$$

ค่าของ  $\tau_{DS}$  อยู่ในพิภพระหว่าง 0.05 ถึง 0.1 รูปเครื่องควบคุมแบบ PID จะมีสามพารามิเตอร์ที่ต้องถูกปรับแต่ง ได้แก่ อัตราขยายหรือ Proportional Band เวลารีเซ็ตหรืออัตรารีเซ็ต อัตราต่อเวลา อัตราต่อเวลาหรือเดอริเวทีฟก็คือน่าจะมีความสามารถในการคาดการณ์ข้างหน้าขณะที่กระบวนการหรือตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่งหน้าไป

#### 2.4 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนและเดอริเวทีฟ Proportional- Derivative Controller (PD)

เครื่องควบคุมแบบนี้จะถูกใช้ในกระบวนการที่ใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวแต่ต้องการค่าของการคาดการณ์ล่วงหน้าอีกด้วย แสดงสมการได้ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + Kc.e(t) + Kc.\tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.26)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนในอุดมคติคือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kc(1 + \tau_D s) \quad (2.27)$$

ข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบ PD ไม่สามารถที่จะแก้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ได้ จะได้เฉพาะกริยาอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถจะจัดออฟเซ็ทให้หมดไปได้ อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบ PD เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้เชิงพาณิชย์ กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสาร ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

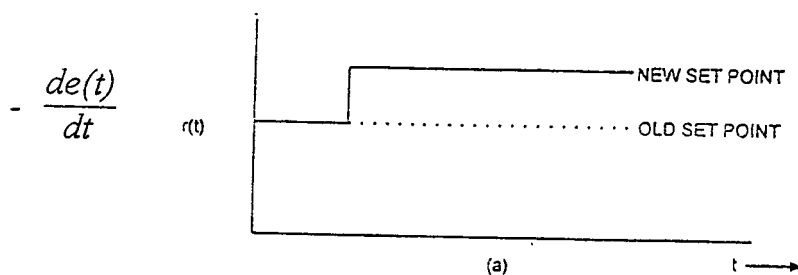
สามารถที่จะมีอัตราขยายที่สูงขึ้นกว่าแบบสัดส่วนอย่างเดียวจึงเป็นผลให้ออฟเซ็ทมีค่าน้อยไปได้ในวงรอบการควบคุมแบบง่าย

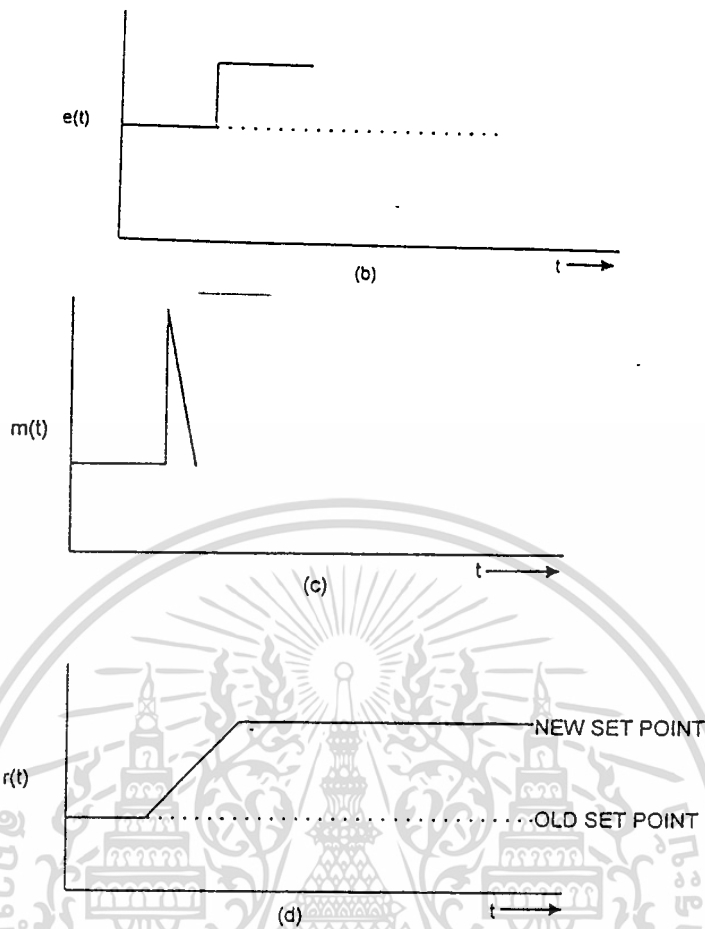
## 2.5 เครื่องควบคุมแบบดิจิทัล Digital Controller

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการ (2.25) เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมในอุตสาหกรรมแบบบอณาลอก อย่างไรก็ตามสมการของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่เป็นแบบที่ไม่ต่อเนื่องในสมการ (2.19) วิธีการในการปรับแต่งจะไม่ได้แตกต่างจากการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบบอณาลอก

มีเรื่องราวของเครื่องควบคุมอีกเล็กน้อย ที่จะได้อธิบายต่อไปก่อนที่จะจบในส่วนนี้ได้แก่สมการ (2.19) แสดงให้เห็นว่าทุกเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายแล้วก็จะจะมีผลกระทบต่อกริยาอินทรีย์กัลและเคอริเวทิฟเพราะ  $\tau_i, \tau_d$  ถูกคูณและหารโดยค่าอัตราขยายหมายความว่าถ้าต้องเปลี่ยนแปลงเฉพาะอัตราขยายอย่างเดียวโดยไม่ต้องให้มีผลกับอินทรีย์กัลและเคอริเวทิฟแล้ว ก็จะต้องเปลี่ยนแปลงค่าทั้งอินทรีย์กัลและเคอริเวทิฟทุกค่าของอัตราขยายที่ถูกเปลี่ยนไปซึ่งเครื่องควบคุมแบบบอณาลอกจะเป็นจะเป็นแบบนี้ทั้งหมด บางครั้งเครื่องควบคุมดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า Interacting Controller เครื่องควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์โดยทั่วไปจะเป็นแบบนี้ด้วย อย่างไรก็ตามจะมีเครื่องควบคุมบางแบบที่แก้ปัญหานี้โดยการแทน  $K_c/\tau_i$  ด้วยเทอม  $K_i$  และ  $K_c \tau_d$  ด้วยเทอม  $K_d$  และพารามิเตอร์ทั้งสามคือ  $K_c, K_i, K_d$

สุดท้ายเป็นความสัมพันธ์ของกริยาเคอริเวทิฟ ในทางหนึ่งที่จะเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 2-8a เมื่อเป็นแบบการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นขั้นในค่าผิดพลาดแสดงในรูปที่ 2-8b ดังนั้นเครื่องควบคุมจะต้องให้ค่าเคอริเวทิฟต่อความผิดพลาดนี้ และกริยาเคอริเวทิฟนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงในทันทีที่ทางออกของเครื่องควบคุมที่แสดงในรูปที่ 2-8c การเปลี่ยนแปลงที่ทางออกนี้ไม่เป็นที่ต้องการและอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อการทำงานของกระบวนการ เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จะใช้เพียงค่าลบของอนุพันธ์ในตัวแปรที่ถูกควบคุมเป็นค่าเคอริเวทิฟต่อความผิดพลาดดังกล่าว





รูปที่ 2-8 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย  
ค่าอนุพันธ์ของทั้งสองจะเท่ากันเมื่อค่าเป้าหมายยังสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

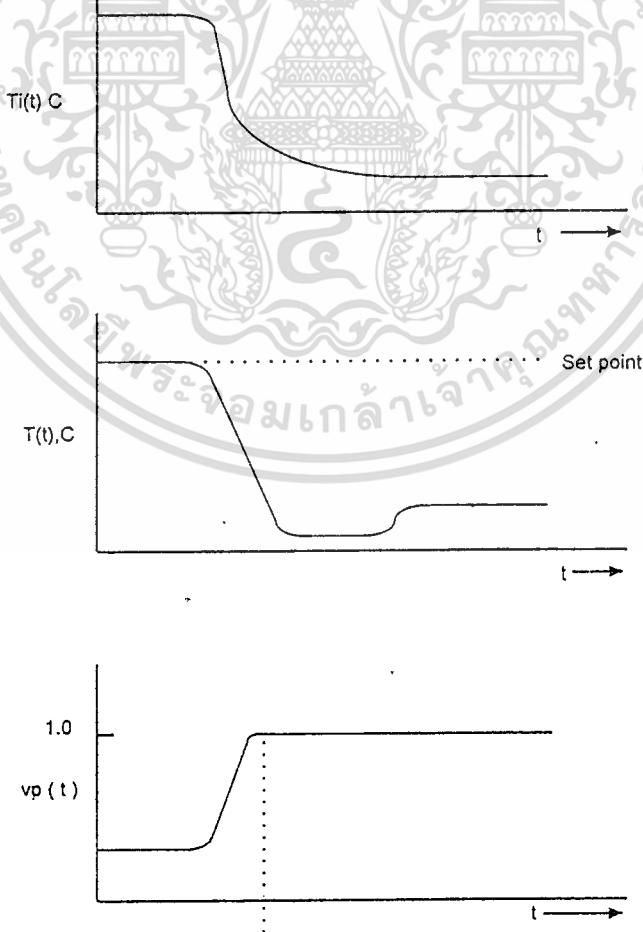
$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{d[r(t) - c(t)]}{dt} = \frac{dr(t)}{dt} - \frac{dc(t)}{dt} \quad (2.28)$$

ขณะนี้ค่าเป้าหมายได้เปลี่ยนเป็นค่าใหม่แล้วค่าเดอริเวทีฟไม่ได้สร้างกริยาทันทีทันใดออกมา ในขณะเดียวกันพฤติกรรมต่างๆก็ยังคงเหมือนแต่ก่อน การเลือกที่จะใช้เครื่องควบคุมแบบอนาลอกหรือแบบไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องคำนึงถึงกริยาเดอริเวทีฟที่จะเป็นผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมด้วย

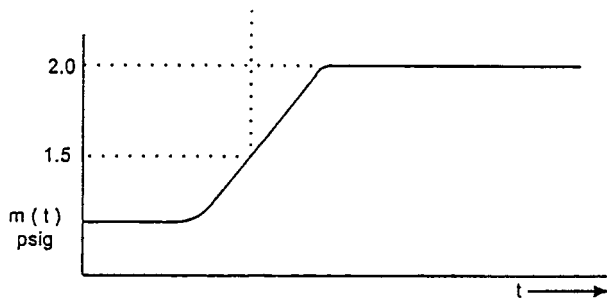
## 2.6 รีเซ็ท-วินด์อัฟ

ปัญหา รีเซ็ท-อัฟนี้เป็นปัญหาที่สำคัญและเกิดขึ้นจริงในกระบวนการ โดยเกิดได้ทุกเวลาที่เครื่องควบคุมมีการใช้โหมดควบคุมแบบอินทิกรัลร่วมอยู่ด้วย

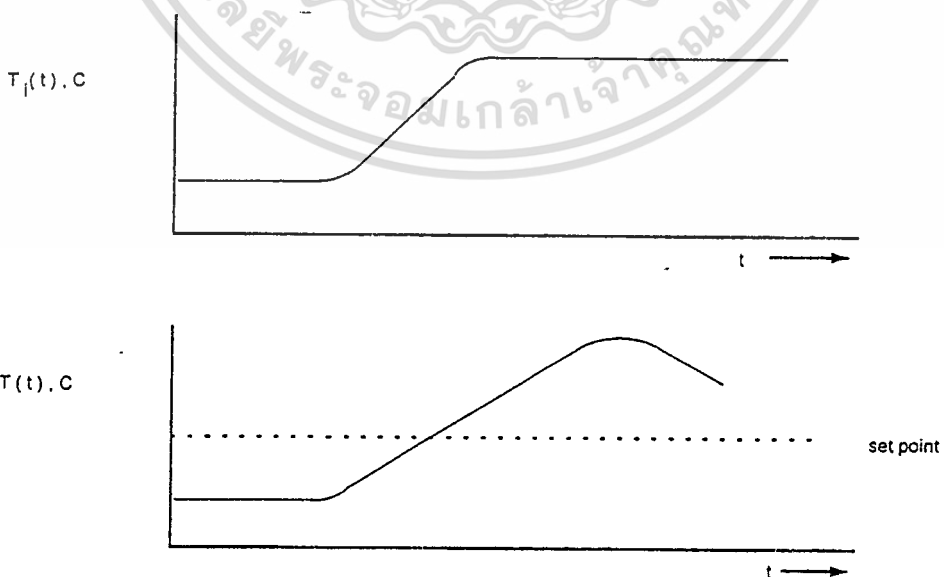
สมมติว่าอุณหภูมิของเหลวที่ทางเข้าของกระบวนการลดลงไปจำนวนหนึ่ง สิ่งรบกวนอันนี้จะกระทบไปจนถึงอุณหภูมิที่ทางออกของกระบวนการด้วย เครื่องควบคุม PI และ PID ก็จะทำให้การเปิดวาล์วไอน้ำให้กว้างขึ้น โดยเพิ่มสัญญาณแรงดันลมให้กับวาล์วที่เป็นแบบใช้แรงดันเพื่อทำการเปิด จนอุณหภูมิทางออกเพิ่มจนเท่ากับค่าเป้าหมายที่ต้องการ แต่ถ้าสมมติว่าถ้าตัวแปรที่ถูกควบคุมยังไม่เพิ่มขึ้นเท่าใด เครื่องควบคุมก็จะต้องอินทิเกรตค่าผิดพลาดไปจนที่ทางออกเป็น 15 psig ที่จุดนี้วาล์วไอน้ำก็จะเปิดกว้างสุดเพราะฉะนั้นวงรอบการควบคุมไม่สามารถที่จะทำอะไรได้อีกแล้วกระบวนการอยู่นอกเหนือจากการควบคุมดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 2-9 ในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อวาล์วถูกเปิดสุดตัวแปรที่ถูกควบคุมหรืออุณหภูมิทางออกก็ยังคงไม่เข้าหาค่าเป้าหมาย ก็ยังคงมีค่าผิดพลาดอยู่ตลอด เครื่องควบคุมก็พยายามที่จะแก้ ( โดยการอินทิเกรตค่าผิดพลาด ) ออกที่ทางออกมากขึ้นแต่ว่าวาล์วไม่สามารถที่จะเปิดกว้างกว่านี้ได้แล้ว และที่ทางเครื่องควบคุมจะอุณหภูมิจะอินทิเกรตมากขึ้นจนไปถึงที่แรงดันแหล่งจ่ายซึ่งโดยปกติจะประมาณ 20 psig ที่จุดนี้เองเครื่องควบคุมไม่สามารถที่จะเพิ่มค่าที่ทางออกที่จุดอิมิต์นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-9 ด้วย จุดอิมิต์จะเป็นผลมาจากกริยาอินทิกรัลของเครื่องควบคุมที่ผิดพลาดได้เกิดขึ้นเป็นเวลานานและสภาวะอิมิต์นี้จึงถูกเรียกว่า รีเซ็ต-วินด์อัฟ

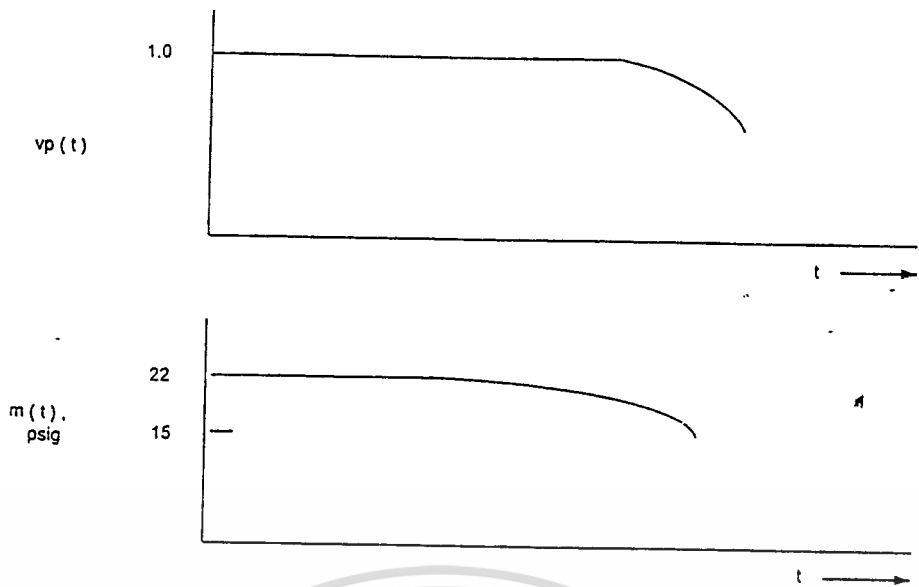


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 แสดงผลตอบสนองในวงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน และในขณะที่สมมติว่าอุณหภูมิทางเข้าได้กลับมามาตามเดิมอุณหภูมิทางออกของกระบวนการก็เริ่มต้นที่จะเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 2-10 รูปนี้แสดงอุณหภูมิทางออกเพิ่มขึ้นเข้าสู่ค่าเป้าหมายและผ่านเลยไปแต่วาล์วก็ยังคงเปิดกว้างสุดอยู่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วน่าจะเปิดไปได้แล้ว เหตุผลที่มันไม่เปิดก็เพราะว่าเครื่องควบคุมจะต้องอินทิเกรตค่าที่ค้างอยู่เดิมออกเสียก่อนจาก 20 psig ไปเป็น 15 psig จากนั้นถึงจะเริ่มที่จะเปิดวาล์วได้ ในเวลานี้องค์ทำให้อุณหภูมิทางออกเกิดการพุ่งเลยขอบเขตของค่าเป้าหมายไปจำนวนหนึ่ง การแก้ไขในกรณีรีเซ็ต-วินด์อัฟ โดยการเปลี่ยนโหมดการควบคุมไปที่ควบคุมด้วยมือเครื่องควบคุมก็จะหยุดการอินทิเกรตจากนั้นก็เปลี่ยนโหมดการควบคุมกลับไปใช้อัตโนมัติเพื่อเริ่มที่จะลดค่าที่ทางออกต่อไป ข้อเสียของการกระทำแบบนี้ก็คือไม่มีการเตือนว่ากรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใด อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมส่วนมากจะมีอุปกรณ์ป้องกันในกรณีเกิดรีเซ็ต-วินด์อัฟไว้ด้วย การป้องกันโดยอัตโนมัติจะหยุดการอินทิเกรตของเครื่องควบคุมถ้าค่าที่ทางออกเข้าสู่ 15 psig (20mA) หรือ 3 psig (4mA) รีเซ็ต-วินด์อัฟ มักจะเกิดกับกระบวนการแบบแบทช์ (Batch process) หรือในการควบคุมแบบแคสเคด (Cascade control) และเมื่ออุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายถูกควบคุมจากเครื่องควบคุมที่มากกว่าหนึ่ง





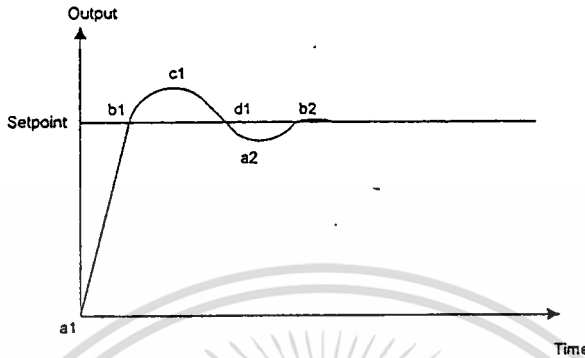
รูปที่ 2-10 แสดงผลตอบสนองในวงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน



## บทที่ 3

### ระบบการควบคุมแบบ PID ร่วมกับ FUZZY (PID- FUZZY CONTROL)

#### 3.1 ข้อดีของระบบควบคุมแบบ PID



ตัวอย่าง Time response ที่ต้องการ

ที่จุดเริ่มต้น  $a_1$  เครื่องควบคุมแบบ PID ควรมีความ proportional gain ( $k_p$ ) ที่ใหญ่เพื่อที่จะให้มีช่วง rise time ที่รวดเร็ว เพื่อนำขบวนการไปยังจุด  $b_1$  อย่างรวดเร็ว ซึ่งในการผลิตสัญญาณที่ใหญ่มีค่ามากนั้นสามารถแทนด้วย Fuzzy Set ที่ Big และค่า  $k_d$  ที่เล็กสามารถแทนด้วย Fuzzy Set ที่ Small และค่า  $T_i$  จะถูกนำหนดด้วยความสัมพันธ์จากค่ากรียา derivative จากสมการ

$$T_i = \alpha T_d$$

ที่จุด  $b_1$  สัญญาณที่ควบคุม (Control signal) ควรจะน้อยเพื่อจะหลีกเลี่ยง Overshoot ที่มาก นั่นคือเครื่องควบคุมแบบ PID ควรจะมี  $k_p$  ต่ำ (PB สูง),  $k_d$  สูง และ  $T_i$  ต่ำ โดยใช้ Fuzzy Rule ปรับ  $K_p$ ,  $K_d$  และ  $\alpha$

จะเห็นว่าการควบคุม Process ด้วย PID โดยใช้ Fuzzy controller หากค่า Fuzzy Output ( $K_p, K_d, \alpha$ ) ที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุดได้ แต่การดำเนินขบวนการไปยัง Set point จะเกิดการ Oscillate ไม่สามารถเข้าสู่ Set point ได้ จึงใช้ PID controller ร่วมด้วยในการควบคุมด้วยความสัมพันธ์ของค่า PID ในรูป Fuzzy จะได้ค่า  $K_p, K_d, K_i$  gains ที่เหมาะสมยิ่งขึ้นที่จะนำระบบเข้าสู่ Set point ได้และไม่เกิด Oscillate

#### 3.2 หลักการควบคุมแบบ PID ด้วย FUZZY GAINS

มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

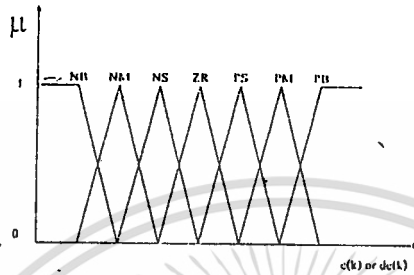
##### ขั้นตอนที่ 1 Fuzzification of Input

นำค่า input (PV) ของ process ที่ได้มาหาค่า Degree of Membership โดยแปลงค่า input ของ process เป็น input ของ Fuzzy Logic System ได้ 2 ค่าคือ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ERROR ;  $e(k) = SP - PV \%$

-CHANGE OF ERROR ;  $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \%$

สร้าง Fuzzy Set ของ  $e(k)$  และ  $\Delta e(k)$



โดย

NB = Negative Big

NM = Negative Medium

NS = Negative Small

ZR = Zero

PS = Positive Small

PM = Positive Medium

PB = Positive Big

สร้าง Fuzzy Set ของ KP และ KD



โดย

KP = Proportion fuzzy gain

KD = Derivative fuzzy gain

$\mu_{small}(x) = (-1/4)\ln x$  หรือ  $X_{small}(\mu) = e^{-4\mu}$  สำหรับ Small

$\mu_{big}(x) = (-1/4)\ln(1-x)$  หรือ  $X_{big}(\mu) = 1 - e^{-4\mu}$  สำหรับ Big

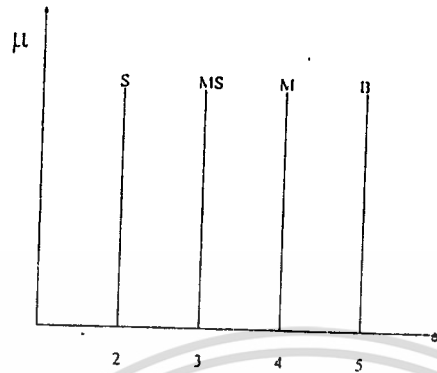
ใน Ziegler - Nichols Rule ค่า Integral time constant ( $T_i$ ) จะมีค่าเป็น 4 เท่า ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $\infty$  อาจพิจารณาด้วย Fuzzy number ที่มี MF เดียว

สร้าง Fuzzy Set ของ  $\infty$



## ขั้นตอนที่ 2 RULE EVALUATION

กำหนดกฎต่างๆ โดยอาศัยค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ได้จากการเปรียบเทียบค่า Fuzzy input กับกราฟความเป็นสมาชิกเป็นตัวกำหนดความสำคัญของกฎแต่ละกฎตาม

### FUZZY IF/THEN RULES

ตัวอย่าง RULES

1. IF  $e(k) = NB$  AND  $\Delta e(k) = NB$  THEN  $KP = B$ ,  $KD = S$ ,  $\infty = S$
2. IF  $e(k) = NS$  AND  $\Delta e(k) = PM$  THEN  $KP = S$ ,  $KD = B$ ,  $\infty = MS$

TABLE ของ I/P - O/P RULES แสดงได้ดังนี้

		KP						
		Change of error						
		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
error	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZR	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KD**

Change of error

	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	S	S	S	S	S	S	S
NM	B	B	S	S	S	B	B
NS	B	B	B	S	B	B	B
ZR	B	B	B	B	B	B	B
PS	B	B	B	S	B	B	B
PM	B	B	S	S	S	B	B
PB	S	S	S	S	S	S	S

**$\alpha$**

Change of error

	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	2	2	2	2	2	2	2
NM	3	3	2	2	2	3	3
NS	4	3	3	2	3	3	4
ZR	5	4	3	3	3	4	5
PS	4	3	3	2	3	3	4
PM	3	3	2	2	2	3	3
PB	2	2	2	2	2	2	2

ขั้นตอนที่ 3 Defuzzification of Output

หาค่า Fuzzy Output ด้วยวิธี Center of Gravity

TABLE หาค่า KP, KD และ  $\alpha$  แสดงได้ดังนี้

	$\Delta e(k)$									
	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	
-100	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75	
-75	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	
-50	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	
-25	0.26	0.26	0.5	0.6	0.74	0.6	0.5	0.26	0.26	
0	0.24	0.26	0.28	0.4	0.75	0.4	0.28	0.26	0.24	
25	0.26	0.26	0.5	0.6	0.74	0.6	0.5	0.26	0.26	
50	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	
75	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	
100	0.75	0.74	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.74	0.75	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ Table of KP เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$e(k)$

	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24
-75	0.6	0.6	0.5	0.26	0.26	0.26	0.5	0.6	0.6
-50	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72
-25	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74
0	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75
25	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74
50	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72
75	0.6	0.6	0.5	0.26	0.26	0.26	0.5	0.6	0.6
100	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24

$e(k)$

Table of KD

$e(k)$

	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	2	2	2	2	2	2	2	2	2
-75	2.75	2.75	2.5	2	2	2	2.5	2.75	2.75
-50	3.5	3.33	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3.33	3.5
-25	4.25	3.6	3.33	2.75	2.25	2.75	3.33	3.6	4.25
0	5	4.25	3.5	3	3	3	3.5	4.25	5
25	4.25	3.6	3.33	2.75	2.25	2.75	3.33	3.6	4.25
50	3.5	3.33	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3.33	3.5
75	2.75	2.75	2.5	2	2	2	2.5	2.75	2.75
100	2	2	2	2	2	2	2	2	2

$e(k)$

Table of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

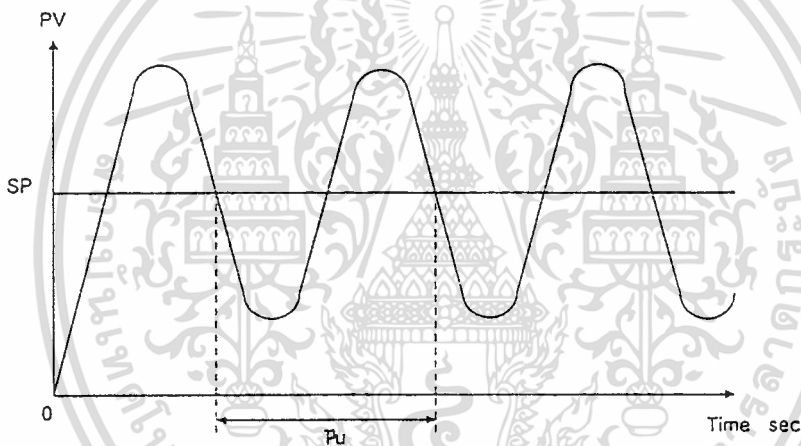
### 3.3 หลักการของ Ziegler and Nichols

เพื่อหาค่า Optimum gain และ Optimum period ( Ku และ Pu)

ใช้วิธี Ultimate Sensitivity method

วิธีการ

1. ให้ระบบควบคุมเป็นแบบวงรอบปิด ( Closed loop )
2. ตั้ง  $T_i$  สูงสุด (max) และ  $T_d$  ต่ำสุด ( 0 หรือ min ) ใช้ P Action ในการควบคุมอย่างเดียว
3. ครั้งแรกตั้งค่า PB ไว้ที่ค่าสูงๆ ( ถ้าตั้ง  $K_p$  ให้ไว้ที่ค่าต่ำๆ ) แล้วลองลดค่า PB ลงมา ลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบตอบสนอง ลดค่า PB ให้ต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงค่าที่เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อย จะทำให้ process เกิดการแกว่งต่อเนื่องไปตลอดค่า PB ในขณะนั้น เรียกว่า  $P_{Bu}$  ( Ultimate proportional band )



4. หาคาบเวลาในการแกว่งให้เท่ากับ  $P_u$  ( Ultimate period )
5. นำค่า  $P_{bu}$  และ  $P_u$  ที่หาได้ไปใช้คำนวณหาค่า PB,  $T_i$  และ  $T_d$

ตาราง Ultimate Sensitivity method

ชนิดการควบคุม	PB	$T_i$	$T_d$
P	$2P_{Bu}$	$\infty$	0
PI	$2.2P_{Bu}$	$0.83P_u$	0
PID	$1.7P_{Bu}$	$0.5P_u$	$1/8 P_u$
	$k_p=0.6k_u$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

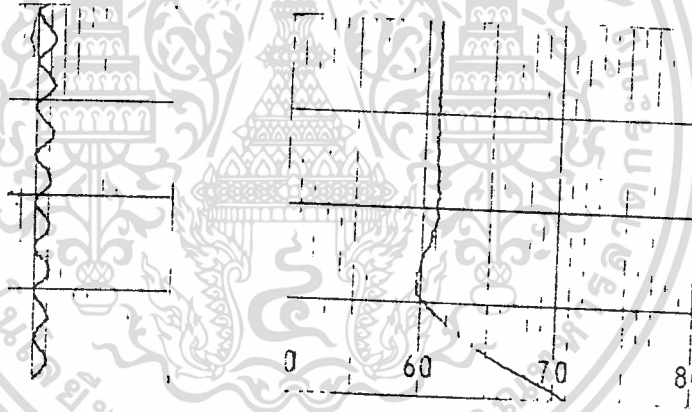
### 3.4 แปลงค่า Fuzzy Outputs (KP,KD, α ) เป็น Kp, Kd, Ki Gains

$$\begin{aligned}
 K_p &= (K_{p,max} - K_{p,min}) KP + K_{p,min} \\
 K_d &= (K_{d,max} - K_{d,min}) KD + K_{d,min} \\
 K_i &= K_p^2 / (\alpha * K_d)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 K_{p,max} &= 0.6 K_u \\
 K_{p,min} &= 0.32 K_u \\
 K_{d,max} &= 0.15 K_u * P_u \\
 K_{d,min} &= 0.08 K_u * P_u \\
 K_u &= \text{Ultimate gain} \\
 P_u &= \text{Ultimate period}
 \end{aligned}$$

จากการทดลองโดยใช้วิธี Ultimate sensitivity method ของ Ziegler - Nichols ได้ผลการทดลองดังรูป



ปรับ  $T_i \rightarrow \infty$ ,  $T_d = 0$

ตั้งอัตรา Feed ของ Recorder ไว้ที่ 200 mm/hr วัฏระยะของ period  $\approx 6.6$  mm

ได้  $K_u = 25$

ดังนั้นคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$P_u = 6.6 * (3600/200) \approx 120 \text{ sec}$$

$$K_p = 0.6 K_u = 0.6 * 25 = 15$$

$$T_i = P_u / 2 = 120 / 2 = 60 \text{ sec}$$

$$T_d = P_u / 8 = 120 / 8 = 15 \text{ sec}$$

แทนค่าใน (1) หา TABLE ของ Kp, Kd, และ Ki ได้ดังนี้

TABLE OF  $K_p, K_d, K_i$ 

$K_p$		$\Delta e(k)$								
		-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
$e(k)$	-100	13.25	13.18	13.04	13.18	13.25	13.18	13.04	13.18	13.25
	-75	10.8	12.2	13.04	13.18	13.18	13.18	13.04	12.2	10.8
	-50	9.96	11.5	11.5	13.04	13.04	13.04	11.5	11.5	9.96
	-25	9.82	9.82	11.5	12.2	13.18	12.2	11.5	9.82	8.82
	0	9.68	9.82	9.96	10.8	13.25	10.8	9.96	9.82	9.68
	25	9.82	9.82	11.5	12.2	13.18	12.2	11.5	9.82	9.82
	50	9.96	11.5	11.5	13.04	13.04	13.04	11.5	11.5	9.96
	75	10.8	12.2	13.04	13.18	13.18	13.18	13.04	12.2	10.8
	100	13.25	13.18	13.04	13.18	13.25	13.18	13.04	13.18	13.25

$K_d$		$\Delta e(k)$								
		-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
$e(k)$	-100	290.4	294.6	298.8	294.6	290.4	294.6	298.8	294.6	290.4
	-75	366	366	345	294.6	298.8	294.6	345	366	366
	-50	391.2	391.2	345	345	298.8	345	345	391.2	391.2
	-25	395.4	395.4	391.2	366	324	366	391.2	395.4	395.4
	0	397.5	395.4	391.2	395.4	397.5	395.4	391.2	395.4	397.5
	25	395.4	395.4	391.2	366	324	366	391.2	395.4	395.4
	50	391.2	366	345	345	298.8	345	345	391.2	391.2
	75	366	366	345	294.6	298.8	294.6	345	366	366
	100	290.4	294.6	298.8	294.6	290.4	294.6	298.8	294.6	290.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$e(k)$	$K_i$									
	$\Delta e(k)$	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	0.302	0.295	0.284	0.295	0.302	0.295	0.284	0.295	0.302	
-75	0.116	0.148	0.197	0.295	0.295	0.295	0.197	0.148	0.116	
-50	0.072	0.101	0.153	0.197	0.284	0.197	0.153	0.101	0.072	
-25	0.057	0.068	0.101	0.148	0.238	0.148	0.101	0.068	0.057	
0	0.047	0.057	0.072	0.098	0.147	0.098	0.072	0.057	0.047	
25	0.057	0.068	0.101	0.148	0.238	0.148	0.101	0.068	0.057	
50	0.072	0.101	0.153	0.197	0.284	0.197	0.153	0.101	0.072	
75	0.116	0.148	0.197	0.295	0.295	0.295	0.197	0.148	0.116	
100	0.302	0.295	0.284	0.295	0.302	0.295	0.284	0.295	0.302	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Ti								
		$\Delta e(k)$								
		-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
e(k)	-100	43.9	44.7	45.9	44.7	43.9	44.7	45.9	44.7	43.9
	-75	93.1	82.4	66.2	44.7	44.7	44.7	66.2	82.4	93.1
	-50	138.3	113.9	75.2	66.2	45.9	66.2	75.2	113.9	138.3
	-25	172.3	144.4	113.9	82.4	55.4	82.4	113.9	144.4	172.3
	0	205.9	172.3	138.3	110.2	90.1	110.2	138.3	172.3	205.9
	25	172.3	144.4	113.9	82.4	55.4	82.4	113.9	144.4	172.3
	50	138.3	113.9	75.2	66.2	45.9	66.2	75.1	113.9	138.3
	75	93.1	82.4	66.2	44.7	44.7	44.7	66.2	82.4	93.1
	100	43.9	44.7	45.9	44.7	43.9	44.7	45.9	44.7	43.9

		Td								
		$\Delta e(k)$								
		-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
e(k)	-100	21.9	22.3	22.9	22.3	21.9	22.3	22.9	22.3	21.9
	-75	33.8	30	26.4	22.3	22.7	22.3	26.4	30	33.8
	-50	39.3	34	30	26.4	22.9	26.4	30	34	39.3
	-25	40.3	40.3	34	30	24.6	30	34	40.3	40.3
	0	41.1	40.3	39.3	36.6	30	36.7	39.3	40.3	41.1
	25	40.3	40.3	34	30	24.6	30	34	40.3	40.3
	50	39.3	34	30	26.4	22.9	26.4	30	34	39.3
	75	33.8	30	26.4	22.3	22.7	22.3	26.4	30	33.8
	100	21.9	22.3	22.9	22.3	21.9	22.3	22.9	22.3	21.9

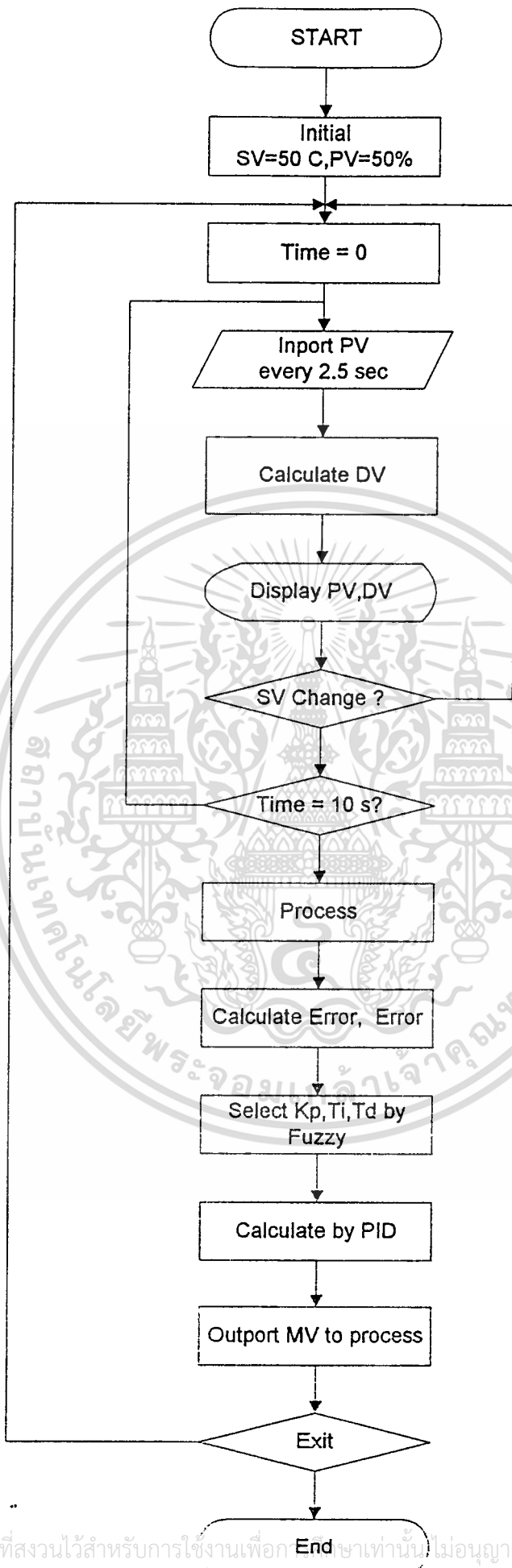
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### โปรแกรมควบคุมกระบวนการและแสดงผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
**ALGORITHM การทำงานของ CONTROLLER**

## โปรแกรมเบสิกบน MCS-52 สำหรับ PID-FUZZY CONTROLLER 1

```

1 REM This program is for 4J project
2 REM *****
3 REM *          Design of PID-FUZZY Controller          *
4 REM *          for Temperature control                  *
5 REM *          by using Microcontroller                *
6 REM *****
10 REM ***** I/O Setting Routine *****
20 PA=0F800H : PB=0F801H : PC=0F802H : PP=0F803H
30 XBY(PP)=91H : RANGE=100 : XBY(PC)=COH
35 REM ***** Main Program *****
40 GOSUB 1100 : GOSUB 4200
50 GOSUB 2000
60 GOSUB 2500
70 GOSUB 5500
900 GOTO 50
1100 REM ***** LCD Display & Setting *****
1110 WCOM=0FA00H : RBUSY=0FA01H : WDAT=0FA02H
1120 XBY(WCOM)=01H : GOSUB 9000
1130 XBY(WCOM)=06H : GOSUB 9000
1140 XBY(WCOM)=0CH : GOSUB 9000
1150 XBY(WCOM)=14H : GOSUB 9000
1160 XBY(WCOM)=38H : GOSUB 9000
1199 REM ***** Constant Display (LINE1) *****
1200 XBY(WCOM)=82H : GOSUB 9000
1210 FOR I=1 TO 4 : READ SHOW1
1220 XBY(WDAT)=SHOW1 : NEXT I
1230 DATA 53H,56H,20H,3DH
1240 XBY(WCOM)=8DH : GOSUB 9000

```

```

1250 XBY(WDAT)=0DEH : GOSUB 9000
1260 XBY(WDAT)=43H : GOSUB 9000
1299 REM ***** Constant Display (LINE2) *****
1300 XBY(WCOM)=0C2H : GOSUB 9000
1310 FOR K=1 TO 4 : READ SHOW3
1320 XBY(WDAT)=SHOW3 : NEXT K
1330 DATA 50H,56H,20H,3DH
1340 XBY(WCOM)=0CDH : GOSUB 9000
1350 XBY(WDAT)=0DEH : GOSUB 9000
1360 XBY(WDAT)=43H : GOSUB 9000
1399 REM ***** Constant Display (LINE3) *****
1400 XBY(WCOM)=092H : GOSUB 9000
1410 FOR M=1 TO 4 : READ SHOW5
1420 XBY(WDAT)=SHOW5 : NEXT M
1430 DATA 4DH,56H,20H,3DH
1440 XBY(WCOM)=09DH : GOSUB 9000
1450 XBY(WDAT)=25H
1499 REM ***** Constant Display (LINE4) *****
1500 XBY(WCOM)=0D2H : GOSUB 9000
1510 FOR N=1 TO 4 : READ SHOW6
1520 XBY(WDAT)=SHOW6 : NEXT N
1530 DATA 44H,56H,20H,3DH
1540 XBY(WCOM)=0DDH : GOSUB 9000
1550 XBY(WDAT)=0DEH : GOSUB 9000
1560 XBY(WDAT)=43H : GOSUB 9000
1600 RETURN
2000 REM ***** Interrupt Part every 10 sec *****
2010 TIME=0 : CLOCK 1 : ONTIME 0,2030 : DO

```

```

2020 WHILE TIME<10 : RETURN
2030 A=TIME
2040 ON A/2.5 GOSUB 8100,8110,8120,8130,8140
2050 ON TIME A+2.5,2030 : RETI
2499 REM ***** Calculate Error & Delta Error *****
2500 ERR0=(SV-TEMP0)*100/RANGE : ERR1=(SV-TEMP1)*100/RANGE
2502 ERR2=(SV-TEMP1)*100/RANGE : ERR3=(SV-TEMP3)*100/RANGE
2504 ERR4=(SV-TEMP4)*100/RANGE
2510 ERR=ERR4 : DERR=(ERR0-ERR4)
2540 GOSUB 3000
2550 RETURN
2999 REM ***** Kp,Ti,Td selection *****
3000 U=INT((100-ABS(ERR))/25) : V=INT((100-ABS(DERR))/25)
3010 ON U GOSUB 3100,3120,3130,3140,3140
3020 RETURN
3100 ON V GOSUB 4000,4010,4020,4030,4030 : RETURN
3120 ON V GOSUB 4040,4050,4060,4070,4070 : RETURN
3130 ON V GOSUB 4080,4090,4100,4110,4110 : RETURN
3140 ON V GOSUB 4120,4130,4140,4150,4150 : RETURN
3999 REM ***** Kp,Ti,Td table *****
4000 KP=12 : TI=57 : TD=27 : RETURN
4010 KP=13 : TI=56 : TD=25 : RETURN
4020 KP=13 : TI=49 : TD=24 : RETURN
4030 KP=13 : TI=44 : TD=22 : RETURN
4040 KP=11 : TI=102 : TD=34 : RETURN
4050 KP=12 : TI=80 : TD=30 : RETURN
4060 KP=13 : TI=60 : TD=26 : RETURN
4070 KP=13 : TI=49 : TD=24 : RETURN

```

```

4080 KP=10 : TI=137 : TD=38 : RETURN
4090 KP=11 : TI=105 : TD=38 : RETURN
4100 KP=12 : TI=80 : TD=30 : RETURN
4110 KP=13 : TI=59 : TD=26 : RETURN
4120 KP=10 : TI=172 : TD=40 : RETURN
4130 KP=10 : TI=137 : TD=38 : RETURN
4140 KP=11 : TI=106 : TD=35 : RETURN
4150 KP=12 : TI=78 : TD=30 : RETURN
4199 REM ***** Set Point Initial Setting & Display *****
4200 SV=50 : XBY(WCOM)=87H : GOSUB 9000
4210 XBY(WDAT)=30H : GOSUB 9000
4220 XBY(WDAT)=35H : GOSUB 9000
4230 XBY(WDAT)=30H : GOSUB 9000
4240 XBY(WDAT)=2EH : GOSUB 9000
4250 XBY(WDAT)=30H : GOSUB 9000
4299 REM ***** PV Initial Setting & Display *****
4300 PV=50 : XBY(WCOM)=0C7H
4310 XBY(WDAT)=30H
4320 XBY(WDAT)=35H
4330 XBY(WDAT)=30H
4340 XBY(WDAT)=2EH
4350 XBY(WDAT)=30H : RETURN
4999 REM ***** Set Point Setting from Keyboard *****
5000 IF (XBY(PC).AND.4H)=4H THEN RETURN ELSE CLOCK 0
5010 XBY(WCOM)=80H : GOSUB 9000 : XBY(WDAT)=7EH : GOSUB 9000
5020 IF (XBY(PC).AND.1H)=0H THEN GOSUB 8900
5030 IF (XBY(PC).AND.2H)=0H THEN GOSUB 8910
5040 GOSUB 5210

```

```

5070 IF (XBY(PC).AND.8H)=0H THEN GOTO 6000 ELSE GOTO 5020
5199 REM ***** Set Point Display *****
5210 XBY(WCOM)=87H : GOSUB 9000
5230 SV1=INT(SV/100) : SV2=INT((SV-SV1*100)/10)
5240 SV3=INT(SV-100*SV1-10*SV2)
5250 XBY(WDAT)=SV1+48 : GOSUB 9000
5260 XBY(WDAT)=SV2+48 : GOSUB 9000
5270 XBY(WDAT)=SV3+48 : GOSUB 9000
5280 XBY(WDAT)=2EH : GOSUB 9000
5290 XBY(WDAT)=48 : GOSUB 9000 : RETURN
5300 XBY(WCOM)=87H : GOSUB 9000
5310 XBY(WDAT)=45H : GOSUB 9000 : REM =====> Display 'E'
5320 XBY(WDAT)=52H : GOSUB 9000 : REM =====> Display 'R'
5330 XBY(WDAT)=52H : GOSUB 9000 : REM =====> Display 'R'
5340 XBY(WDAT)=4FH : GOSUB 9000 : REM =====> Display 'O'
5350 XBY(WDAT)=52H : GOSUB 9000 : REM =====> Display 'R'
5360 RETURN
5500 REM***** PID Algorithm *****
5510 FD1=ERR2-ERR0 : FD2=ERR4-ERR2 : SD=FD2-F1
5520 DTERM=TD*(FD2-0.5*SD)/5 : REM ** Use Newton's Method**
5530 ITERM=(ERR0+2*ERR1+2*ERR2+2*ERR3+ERR4)
5540 MV=KP*(ERR+ITERM+DTERM)*(RANGE/100)
5550 IF MV>100 THEN MV=100
5560 IF MV<0 THEN MV=30
5565 MVOUT=INT((MV+25)/(100/204)) : IF MVOUT>255 THEN MVOUT=255
5570 IF MVOUT<=51 THEN MVOUT=51
5575 XBY(PB)=MVOUT
5580 MV1=INT(MV/100) : MV2=INT((MV-100*MV1)/10)

```

```

5590 MV3=INT(MV-100*MV1-10*MV2) : MV4=INT((MV-100*MV1-10*MV2-MV3)*10)
5600 XBY(WCOM)=97H : GOSUB 9000
5610 XBY(WDAT)=48+MV1 : GOSUB 9000
5620 XBY(WDAT)=48+MV2 : GOSUB 9000
5630 XBY(WDAT)=48+MV3 : GOSUB 9000
5640 XBY(WDAT)=2EH : GOSUB 9000
5650 XBY(WDAT)=48+MV4 : GOSUB 9000 : RETURN
6000 XBY(WCOM)=080H : XBY(WDAT)=20H : GOTO 2010
7999 REM ***** INPORT FROM A/D*****
8000 XBY(PC)=40H : REM wr=0 : xby(pc)=0c0h:rem wr=1
8010 FOR Z=1 TO 64 : NEXT Z : REM delay 100 ms
8020 XBY(PC)=80H : REM rd=0
8025 PBUFF=XBY(PA) : IF PBUFF<51 THEN PBUFF=51
8030 PV=((PBUFF-51)/40.8)*20*RANGE/100 : XBY(PC)=0C0H : REM rd=1
8040 BP1=INT(PV/100) : BP2=INT((PV-100*BP1)/10)
8050 BP3=INT(PV-100*BP1-10*BP2) : BP4=INT((PV-100*BP1-10*BP2-BP3)*10)
8060 XBY(WCOM)=0C7H
8070 XBY(WDAT)=48+BP1 : XBY(WDAT)=48+BP2
8080 XBY(WDAT)=48+BP3 : XBY(WDAT)=2EH
8090 XBY(WDAT)=48+BP4 : RETURN
8999 REM ***** GET & CALCULATE DATA *****
8100 GOSUB 8000 : TEMP0=PV : GOSUB 8500 : GOSUB 5000 : RETURN
8110 GOSUB 8000 : TEMP1=PV : GOSUB 8500 : GOSUB 5000 : RETURN
8120 GOSUB 8000 : TEMP2=PV : GOSUB 8500 : GOSUB 5000 : RETURN
8130 GOSUB 8000 : TEMP3=PV : GOSUB 8500 : GOSUB 5000 : RETURN
8140 GOSUB 8000 : TEMP4=PV : GOSUB 8500 : GOSUB 5000 : RETURN
8500 REM *****DV DISPLAY*****
8510 XBY(WCOM)=0D7H

```

```

8515 IF SV>PV THEN GOSUB 8700 ELSE GOSUB 8800
8520 DV1=INT(DV/100) : DV2=INT((DV-100*DV1)/10)
8530 DV3=INT(DV-100*DV1-10*DV2) : DV4=INT((DV-100*DV1-10*DV2-DV3)*10)
8540 XBY(WDAT)=48+DV1
8550 XBY(WDAT)=48+DV2
8560 XBY(WDAT)=48+DV3
8570 XBY(WDAT)=2EH
8580 XBY(WDAT)=48+DV4
8590 RETURN

8699 REM ***** DV CALCULATE & DISPLAY *****
8700 DV=SV-PV : XBY(WCOM)=0D6H
8710 XBY(WDAT)=20H : RETURN
8800 DV=PV-SV : XBY(WCOM)=0D6H
8810 XBY(WDAT)=2DH : RETURN
8899 REM ***** Change Setpoint *****
8900 FOR DELAY1=1 TO 100 : NEXT DELAY1 : SV=SV+1
8905 IF SV<=RANGE THEN RETURN : GOSUB 5300 : SV=RANGE : RETURN
8910 FOR DELAY2=1 TO 100 : NEXT DELAY2 : SV=SV-1
8915 IF SV<=0H THEN SV=0 : RETURN
8999 REM ***** CHECK BUSY FLAG *****
9000 DO : WHILE XBY(RBUSY)>=80H : RETURN

```

# บทที่ 5

## การทดลองและผลการทดลอง (FOR TEMPERATURE CONTROL)

### โหมด PID

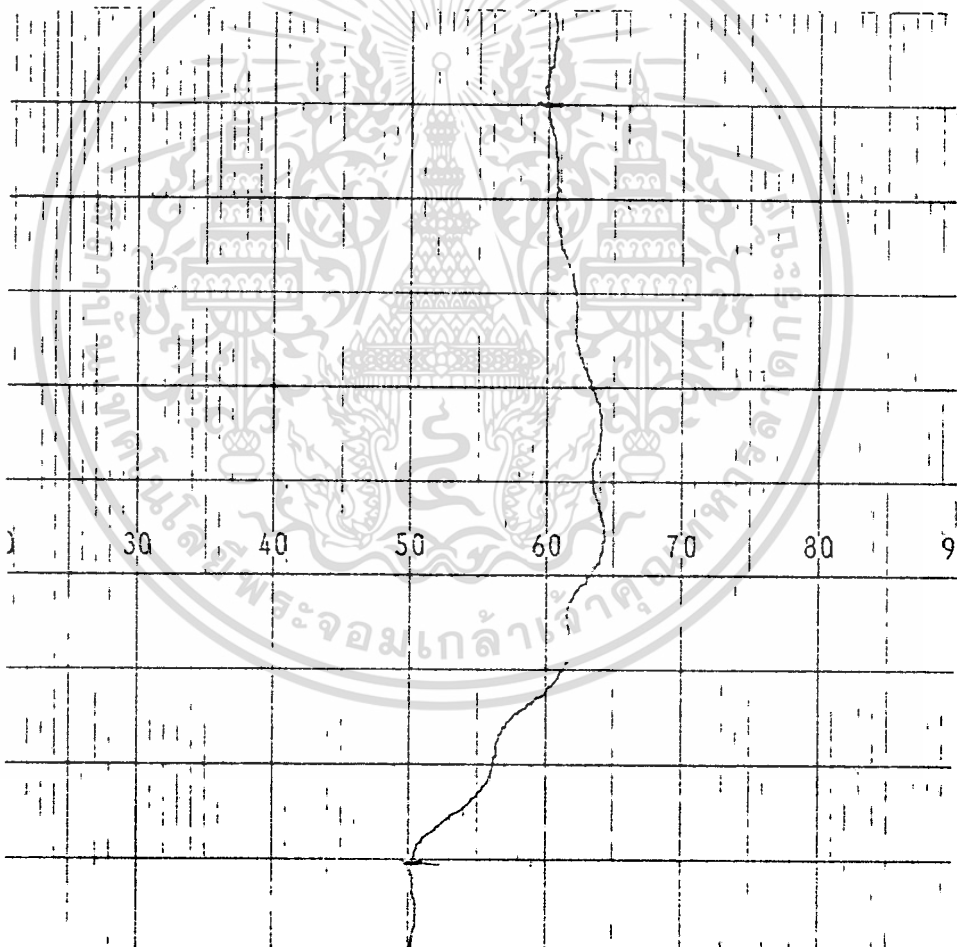
จากสูตร Ziegler and Nichols ใช้  $K_u = 25$ ,  $P_u = 120$  sec

$$K_p = 0.6 * K_u = 15$$

$$T_i = 0.5 * P_u = 60$$

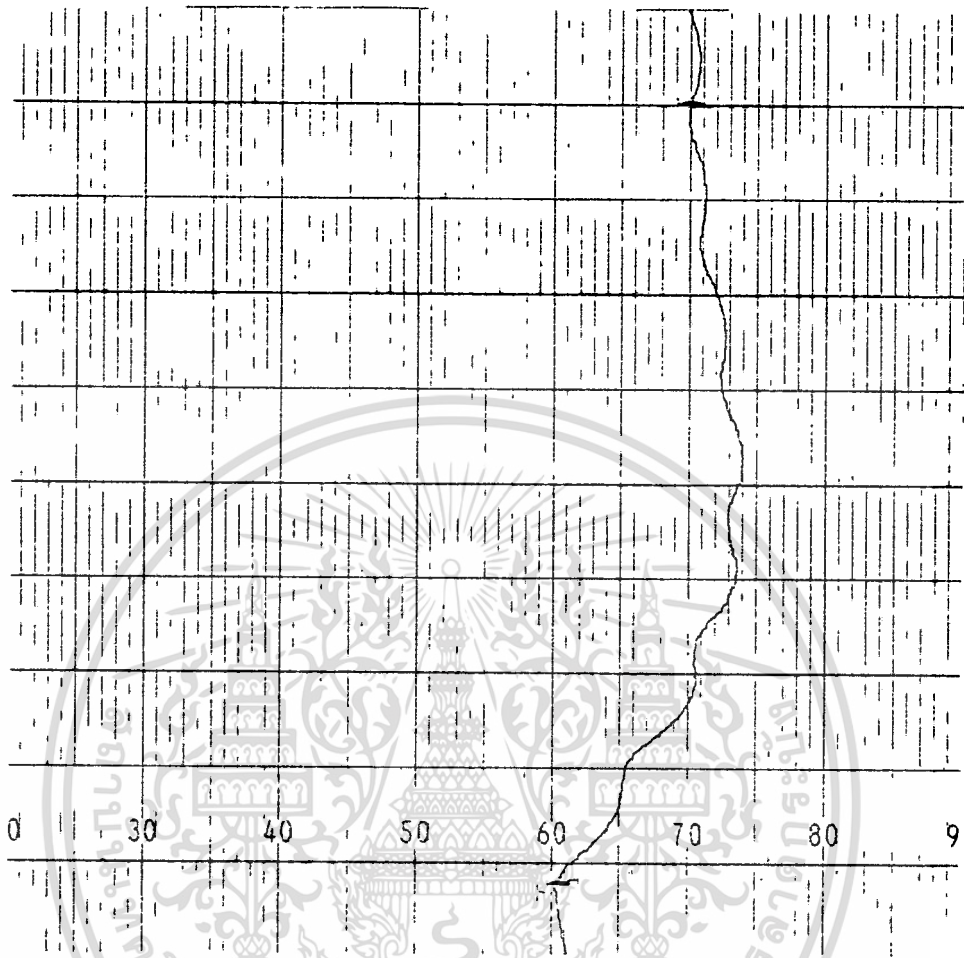
$$T_d = 0.125 * P_u = 15$$

ปรับ Set point =  $60^\circ\text{C}$  ได้กราฟดังรูป 5-1



รูป 5-1

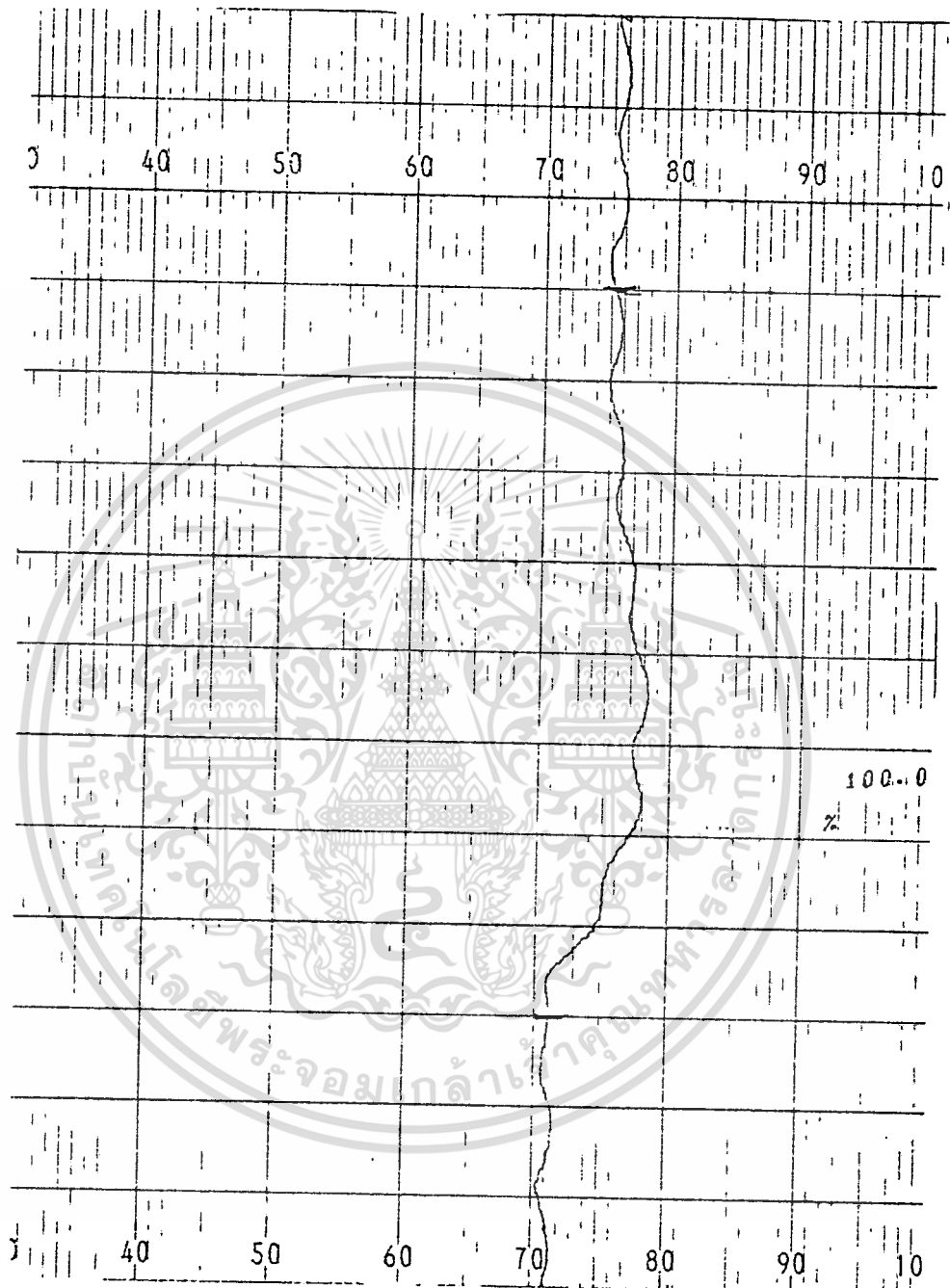
ปรับ Set point =  $70^{\circ}\text{C}$  ได้กราฟดังรูป 5-2



รูป 5-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

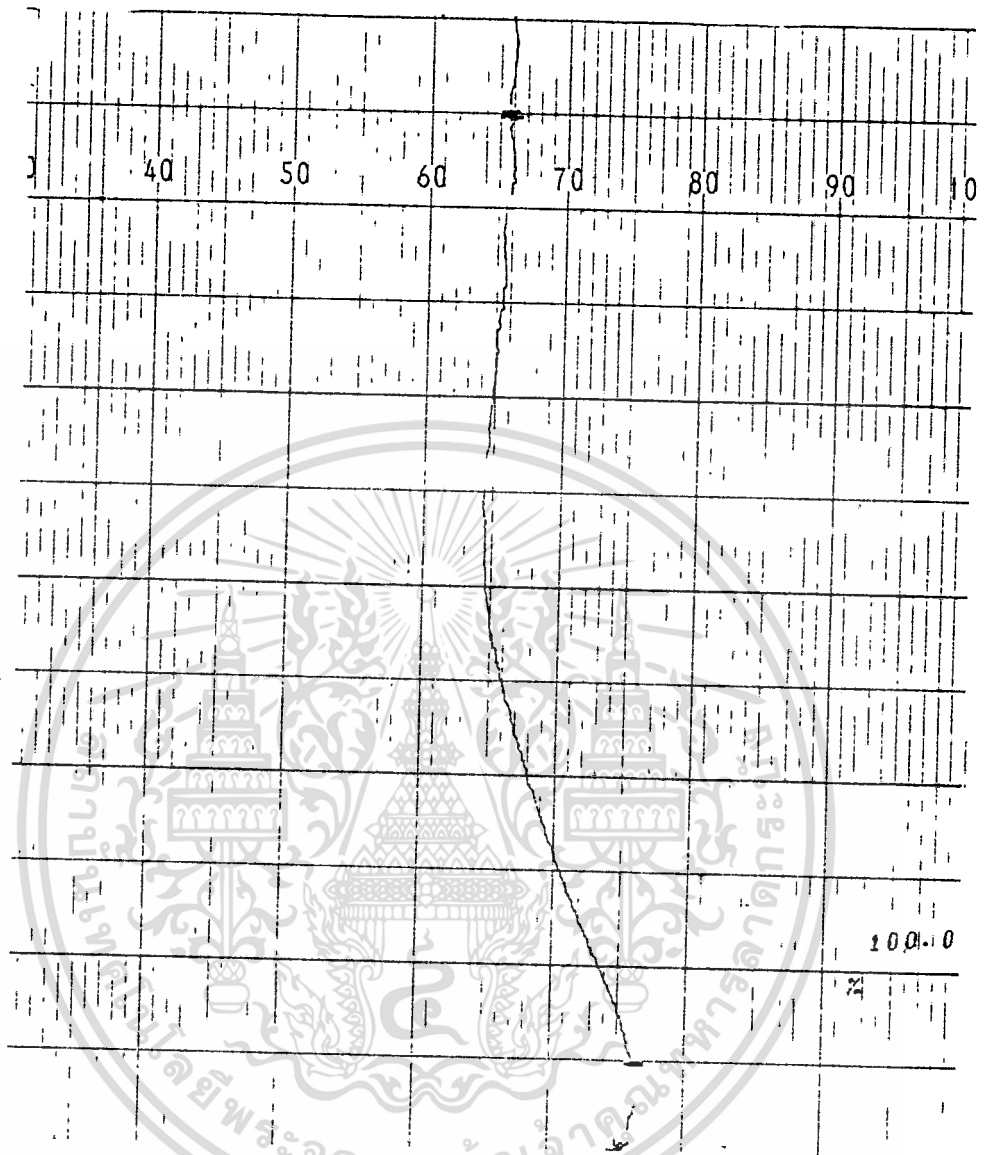
ปรับ Set point = 75°C ได้กราฟดังรูป 5-3



รูป 5-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ Set point =  $65^{\circ}\text{C}$  ได้กราฟดังรูป 5-4



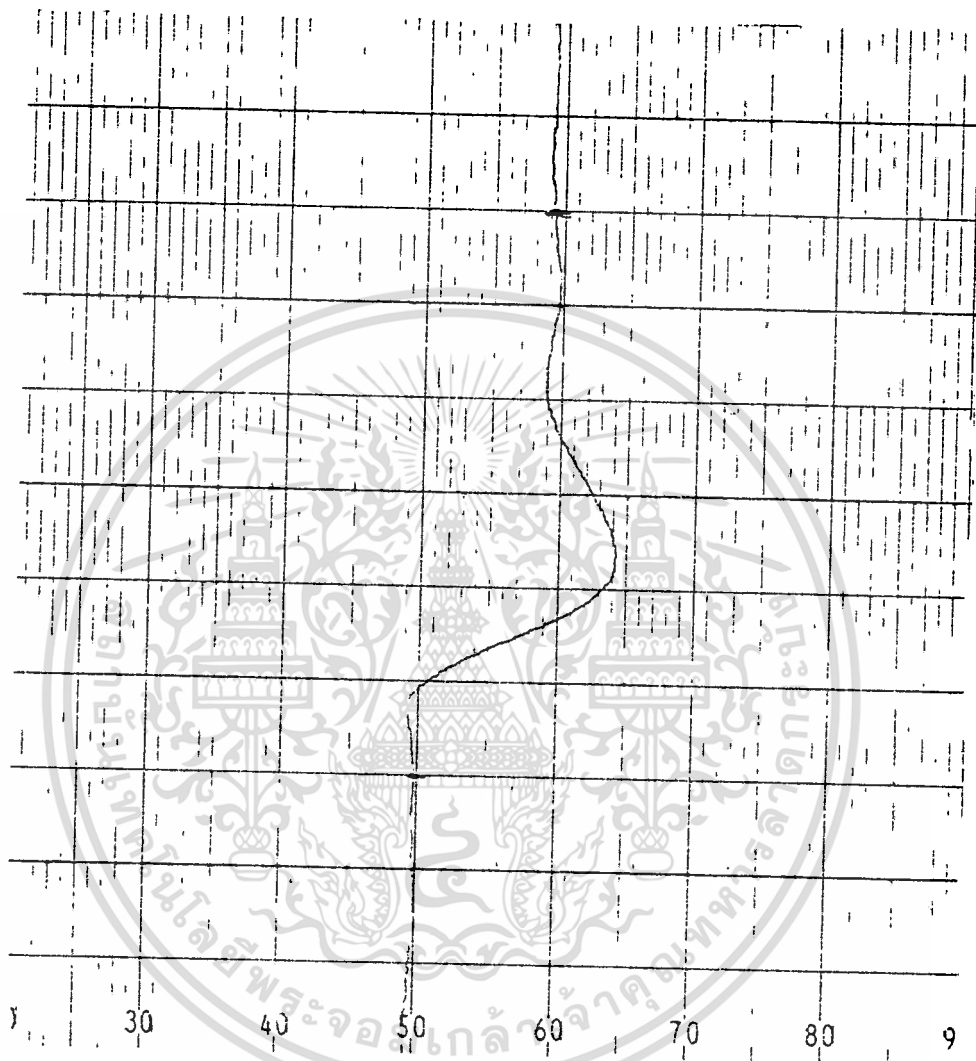
รูป 5-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โหมด PID-FUZZY

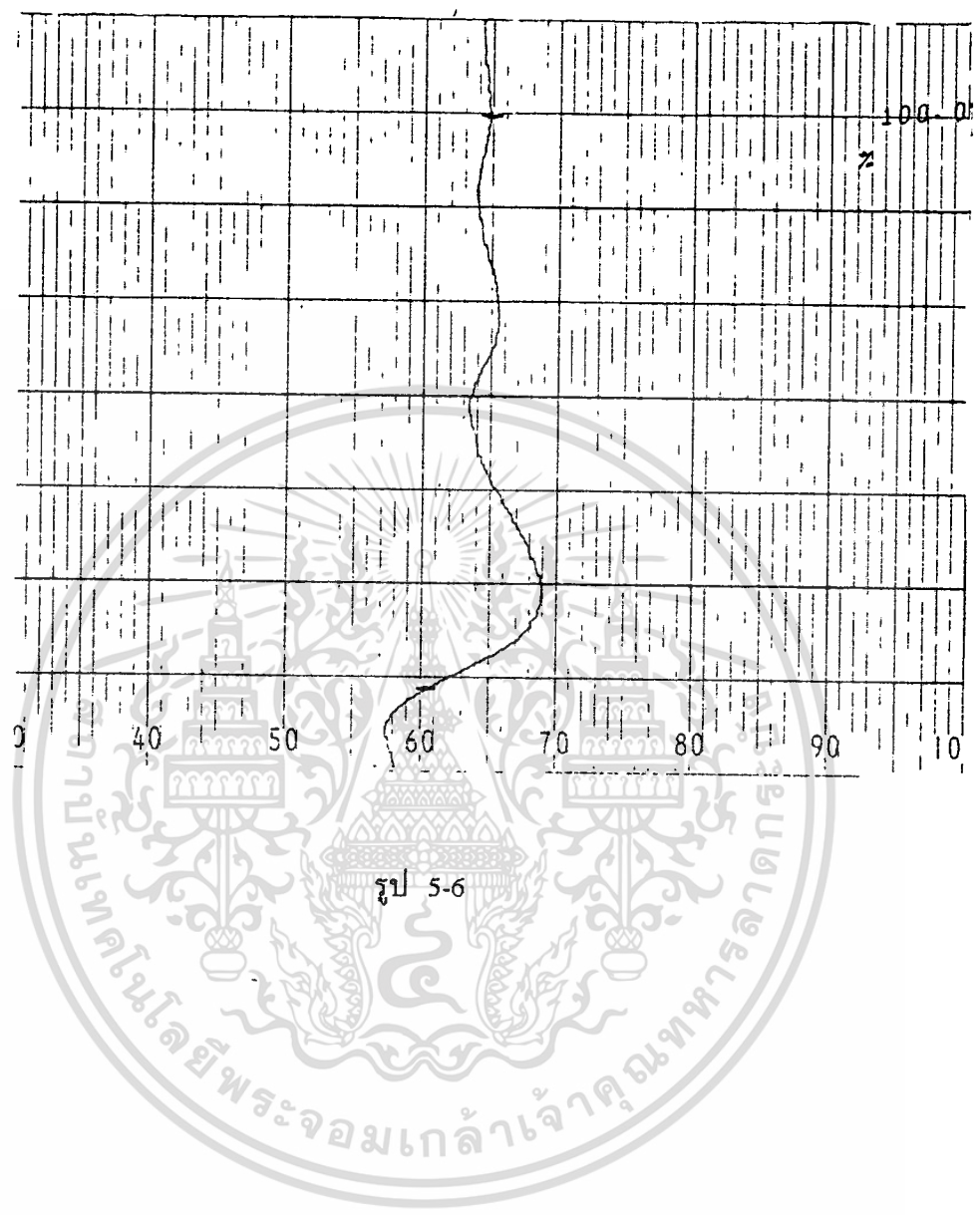
มองค่า  $K_p$  ,  $T_i$  ,  $T_d$  ตาม TABLE (บทที่3)

ปรับ Set point =  $60^\circ\text{C}$  ได้กราฟดังรูป 5-5



รูป 5-5

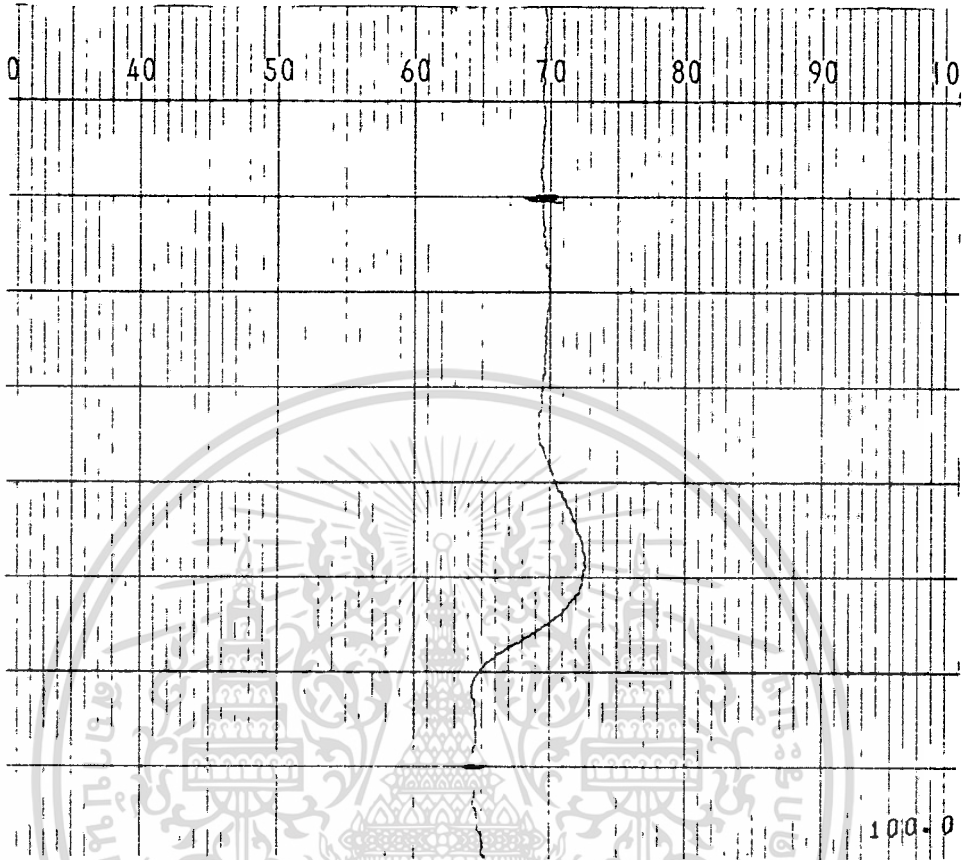
ปรับ Set point = 65°C ได้กราฟดังรูป 5-6



รูป 5-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

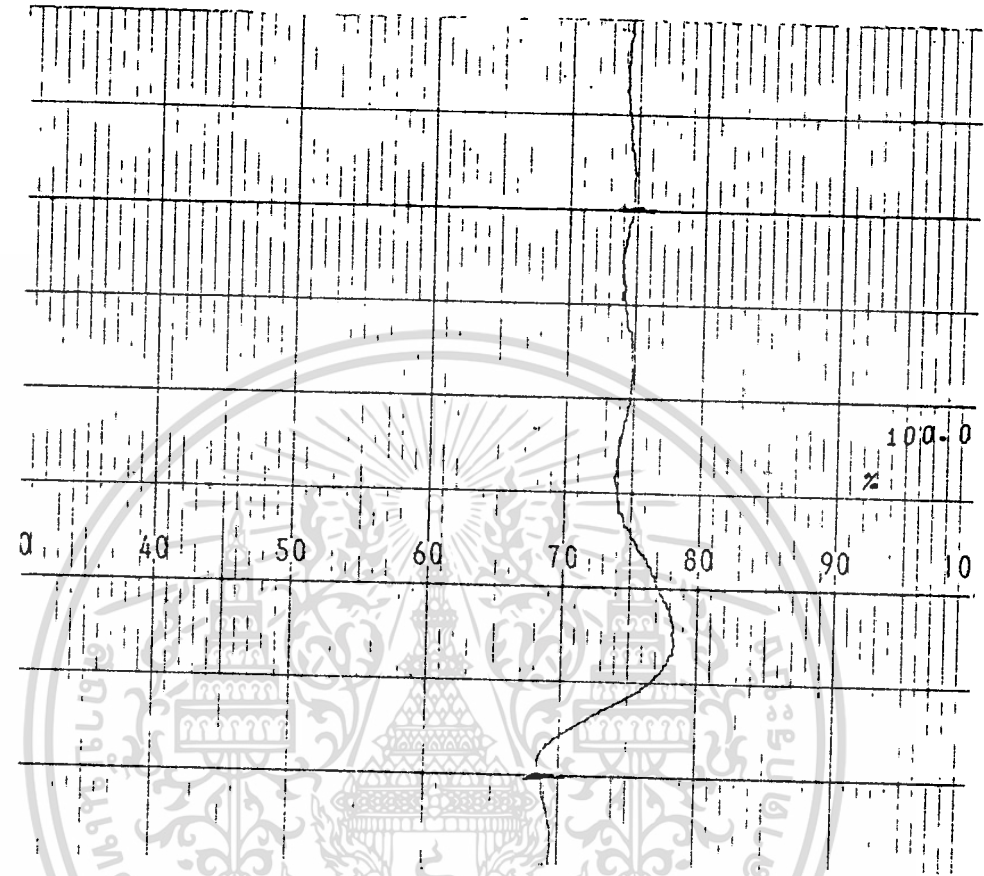
ปรับ Set point = 70°C ได้กราฟดังรูป 5-7



รูป 5-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ Set point =  $75^{\circ}\text{C}$  ได้กราฟดังรูป 5-8



รูป 5-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปรับค่า TABLE ของ PID-FUZZY ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

TABLE OF  $K_p$  ,  $T_i$  ,  $T_d$

$K_p$   $\Delta e(k)$

	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	11.5	11.3	11.45	11.5	11.5	11.5	11.45	11.3	11.5
-75	8.62	10	10.14	10.22	11.5	10.22	10.14	10	8.62
-50	8.48	9	9.42	10.22	11.5	10.22	9.42	9	8.48
-25	8.48	8.7	9.42	10.22	11.5	10.22	9.42	8.7	8.48
0	8.7	8.7	9.42	10.22	11.5	10.22	9.42	8.7	8.7
25	8.48	8.7	9.42	10.22	11.5	10.22	9.42	8.7	8.48
50	8.48	9	9.42	10.22	11.5	10.22	9.42	9	8.48
75	8.62	10	10.14	10.22	11.5	10.22	10.14	10	8.62
100	11.5	11.3	11.45	11.5	11.5	11.5	11.45	11.3	11.5

$T_i$   $\Delta e(k)$

	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	100.1	102.2	104	102.2	100.6	102.2	104	102.2	100.1
-75	210.2	183.5	153.6	102.2	102.2	102.2	153.6	183.5	210.2
-50	301.9	260.5	173.7	147.2	104	147.2	173.7	260.5	301.9
-25	388.2	339.8	260.5	183.7	127.7	183.7	260.5	339.8	388.2
0	437.8	388.2	301.9	245.3	175	245.3	301.9	388.2	437.8
25	388.2	339.8	260.5	183.7	127.7	183.7	260.5	339.8	388.2
50	301.9	260.5	173.7	147.2	104	147.2	173.7	260.5	301.9
75	210.2	183.5	153.6	102.2	102.2	102.2	153.6	183.5	210.2
100	100.1	102.2	104	102.2	100.6	102.2	104	102.2	100.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

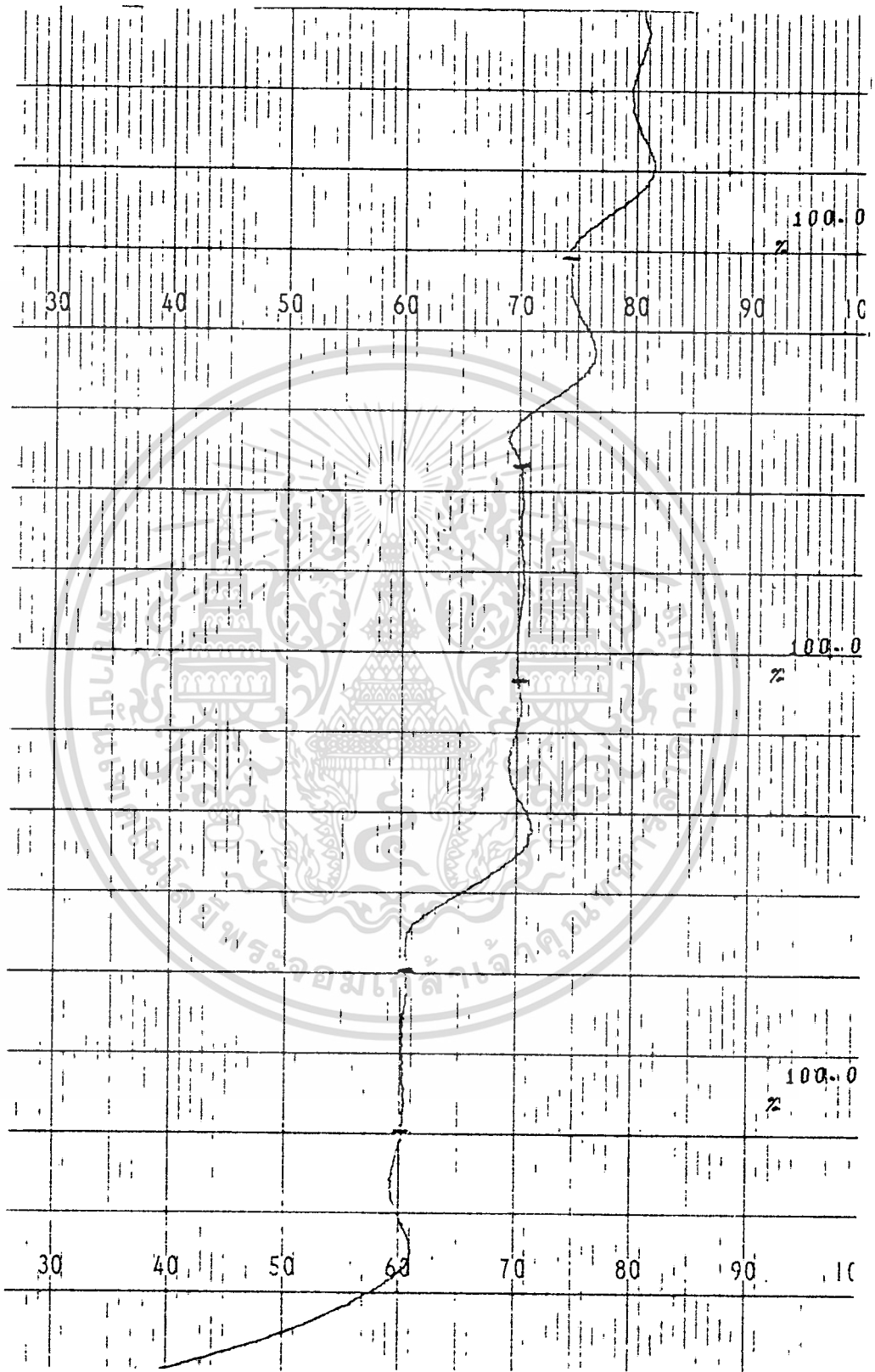
	Td									
	$\Delta e(k)$									
	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	
-100	8.8	8.96	9.2	8.96	8.8	8.96	9.2	8.96	8.8	
-75	13.2	12.04	10.6	8.96	8.96	8.96	10.6	12.04	13.2	
-50	15.64	13.6	12	10.6	9.2	10.6	12	13.6	15.64	
-25	15.8	15.8	13.6	12.04	9.84	12.04	13.6	15.8	15.8	
0	16.44	15.8	15.64	14.6	12	14.6	15.64	15.8	16.44	
25	15.8	15.8	13.6	12.04	9.84	12.04	13.6	15.8	15.8	
50	15.64	13.6	12	10.6	9.2	10.6	12	13.6	15.64	
75	13.2	12.04	10.6	8.96	8.96	8.96	10.6	12.04	13.2	
100	8.8	8.96	9.2	8.96	8.8	8.96	9.2	8.96	8.8	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ Set point = 60°C , 70°C , 75°C , 80°C

ได้กราฟดังรูป 5-9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อรูป 5-9 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 5-1 ถึง 5-4 เป็นการควบคุมโดยโหมด PID

ด้วย Speed 800 mm/hr (0.75 min/cm)

จะเห็นว่า

ที่ Set point (SP) เปลี่ยนจาก 50°C เป็น 60°C , 60°C เป็น 70°C และ 70°C เป็น 75°C

ระบบมีการปรับตัวเข้าสู่ SP ใหม่ โดยใช้เวลา =  $8 * 0.75 = 6$  นาที

ที่ Set point (SP) เปลี่ยนจาก 75°C เป็น 65°C

ระบบมีการปรับตัวเข้าสู่ SP ใหม่ โดยใช้เวลา =  $10 * 0.75 = 7.5$  นาที

จะเห็นว่า

กราฟรูปที่ 5-1 ถึง 5-4 ระบบจะมี Overshoot เกิดขึ้นเป็นเวลายาวนาน และเกิดการ Oscillate ขึ้นด้วย

จากกราฟรูปที่ 5-5 ถึง 5-8 เป็นการควบคุมโดยโหมด PID-FUZZY

ด้วย Speed 800 mm/hr (0.75 min/cm)

จะเห็นว่า

ที่ SP เปลี่ยนจาก 50°C เป็น 60°C , 60°C เป็น 65°C , 65°C เป็น 70°C และ 70°C เป็น 75°C

ระบบมีการปรับตัวเข้าสู่ SP ใหม่ โดยใช้เวลา =  $6 * 0.75 = 4.5$  นาที

จะเห็นว่า

ระบบจะมี Overshoot ในเวลาที่สั้นกว่า , เกิด Oscillate น้อยกว่า และการดำเนินการกระบวนการเข้าสู่ SP ใหม่จะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าการควบคุมด้วย PID

เมื่อปรับค่า TABLE ของ PID-FUZZY ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

โดยใช้ค่า  $K_u = 20$ ,  $P_u = 96$  และ 400 สร้าง TABLE ของ  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ใหม่

ในการทดลอง Speed = 400 mm/hr (1.5 min/cm)

ได้ผลการทดลองดังกราฟรูป 5-9

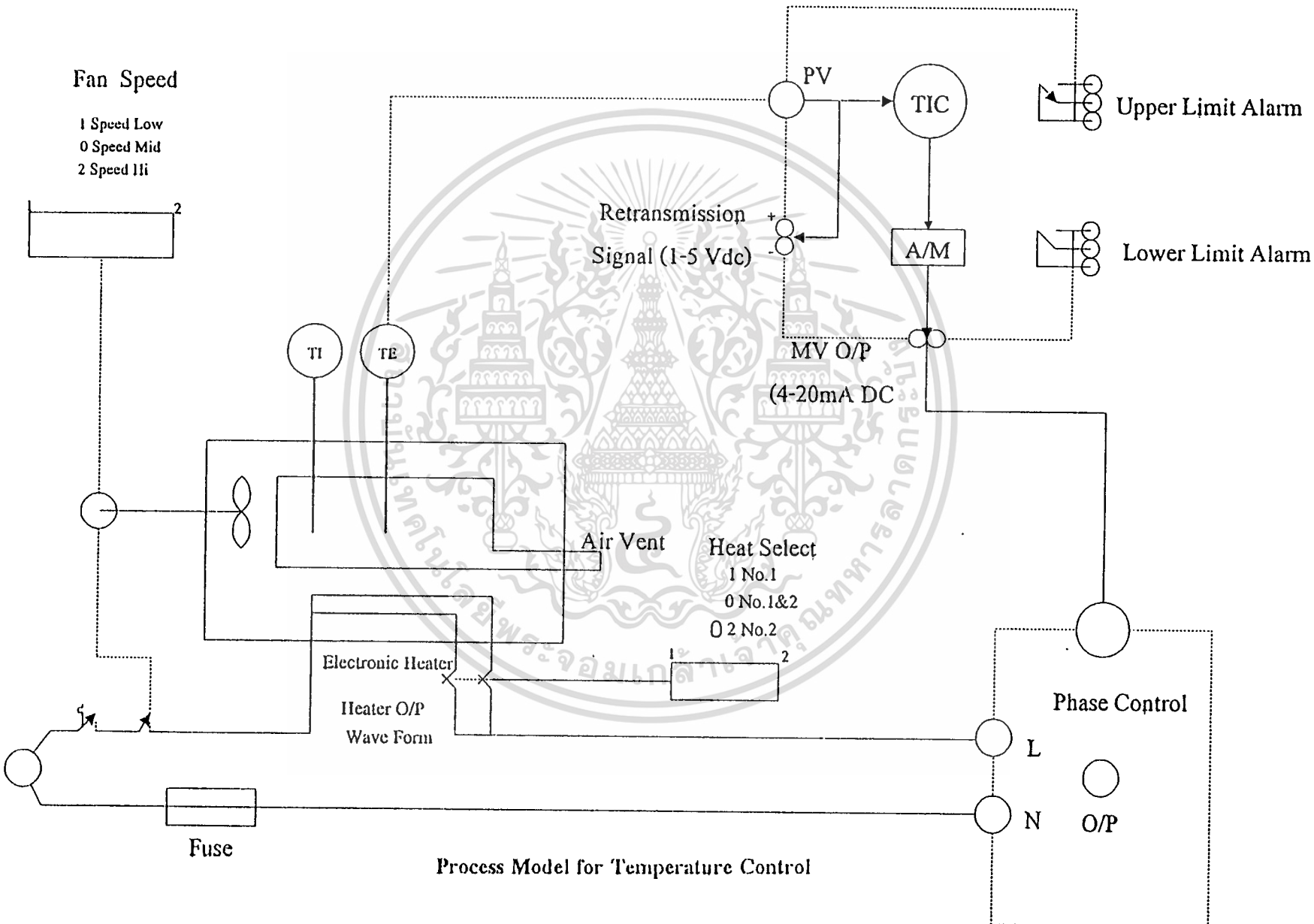
จะเห็นว่า

ที่ SP เปลี่ยนจาก 40°C เป็น 60°C , 60°C เป็น 70°C , 70°C เป็น 75°C และ 75°C เป็น 80°C

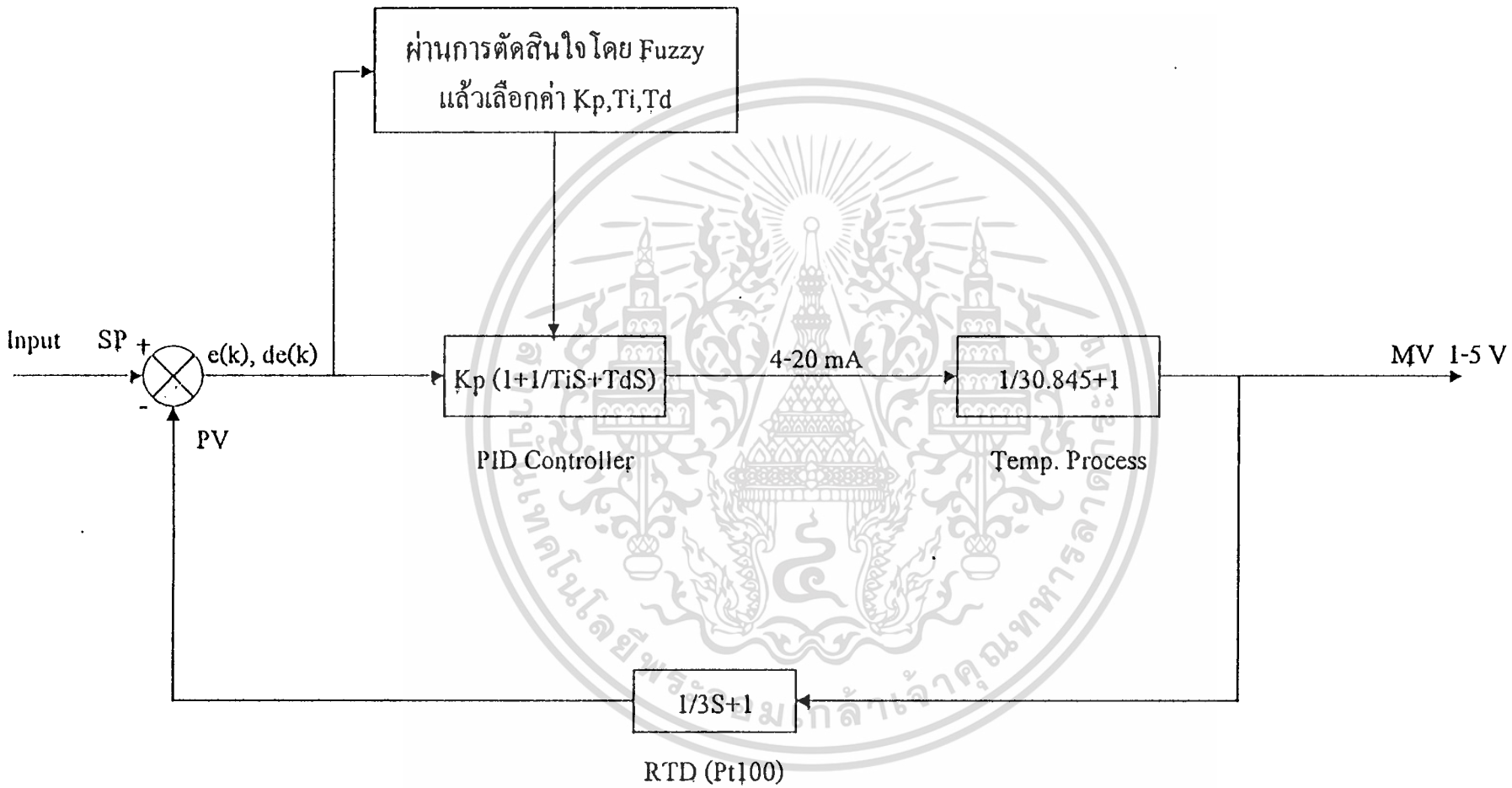
ระบบใช้เวลาปรับเข้าหา SP ใหม่ ใช้เวลา =  $3 * 1.5 = 4.5$  นาที

สังเกตว่ากราฟรูป 5-9 จะมี Overshoot ลดลง

Temperature Controller



Process Model for Temperature Control



Block Diagram for Temperature Control

## บทที่ 6

### บทสรุป

#### PID CONTROLLER

ตัวควบคุมกระบวนการในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้การควบคุมแบบ PID Controller (Proportional Integral and Derivative Controller) ซึ่งสัญญาณ Output ควบคุมได้มาจากการรวมของเทอม P + I + D ดังนี้

$$CS(k) = K_p(e(k) + (T_s/T_i) \sum_{i=1}^k e(k) + (T_d/T_s) \Delta e(k)) + CS(0) \quad (6.1)$$

ไม่ว่ากระบวนการใดก็ตามการควบคุมที่ดีเพื่อให้ค่าเป้าหมายตามที่ต้องการนั้น จะต้องมีการปรับแต่งตัวแปร (Tuning Parameter) ให้ได้ค่าเหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆ ซึ่งวิธีการปรับแต่งตัวแปรควบคุมสามารถหาได้โดยการใช้สูตรทางทฤษฎี

สูตรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและนิยมคือ Ziegler Nichols

$$K_p = 0.6 * K_u \quad (6.2)$$

$$T_i = 0.5 * P_u \quad (6.3)$$

$$T_d = 0.125 * P_u \quad (6.4)$$

จะเห็นว่าตัวแปรที่เราต้องทราบคือ  $K_u$  (Ultimate Gain) และ  $P_u$  (Ultimate Period Time) ซึ่งวิธีการหานั้นได้จากการทดลองป้อน  $K_p$  อย่างเดียว จนทำให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบ Oscillate ซึ่งมีค่า Gain ที่เราป้อนนั้นก็คือ  $K_u$  และคาบเวลาของการ Oscillate ก็คือ  $P_u$  ซึ่งทั้ง  $K_u$  และ  $P_u$  นั้นขึ้นอยู่กับระบบของกระบวนการในแต่ละกระบวนการก็จะมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้  $K_u$  และ  $P_u$  แล้วก็นำไปแทนในสมการที่ 6.2, 6.3, 6.4 ก็จะได้ค่า  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  แล้วนำไปป้อนในสมการที่ 6.1 ก็จะได้ตัวแปรที่เหมาะสมด้วยทฤษฎีของกระบวนการนั้นๆ

#### PID-FUZZY CONTROLLER

การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีของ Fuzzy เข้ามาช่วยนั้นสิ่งที่จะต้องทราบจากกระบวนการก็คือ  $K_u$  และ  $P_u$  เช่นเดียวกับสูตร Ziegler Nichols ส่วนทฤษฎี Fuzzy นั้นได้กล่าวอธิบายแล้ว ดังนั้นต่อไปจะเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่างๆดังที่กล่าวมา

#### การเปรียบเทียบ

การควบคุมแบบ PID และ PID-FUZZY Controller สิ่งที่เราเห็นได้ชัดเจนที่สุดก็คือ

- การควบคุมแบบ PID ตัวแปรการควบคุม  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ผู้ควบคุมจะต้องป้อนให้ตัวควบคุมเอง

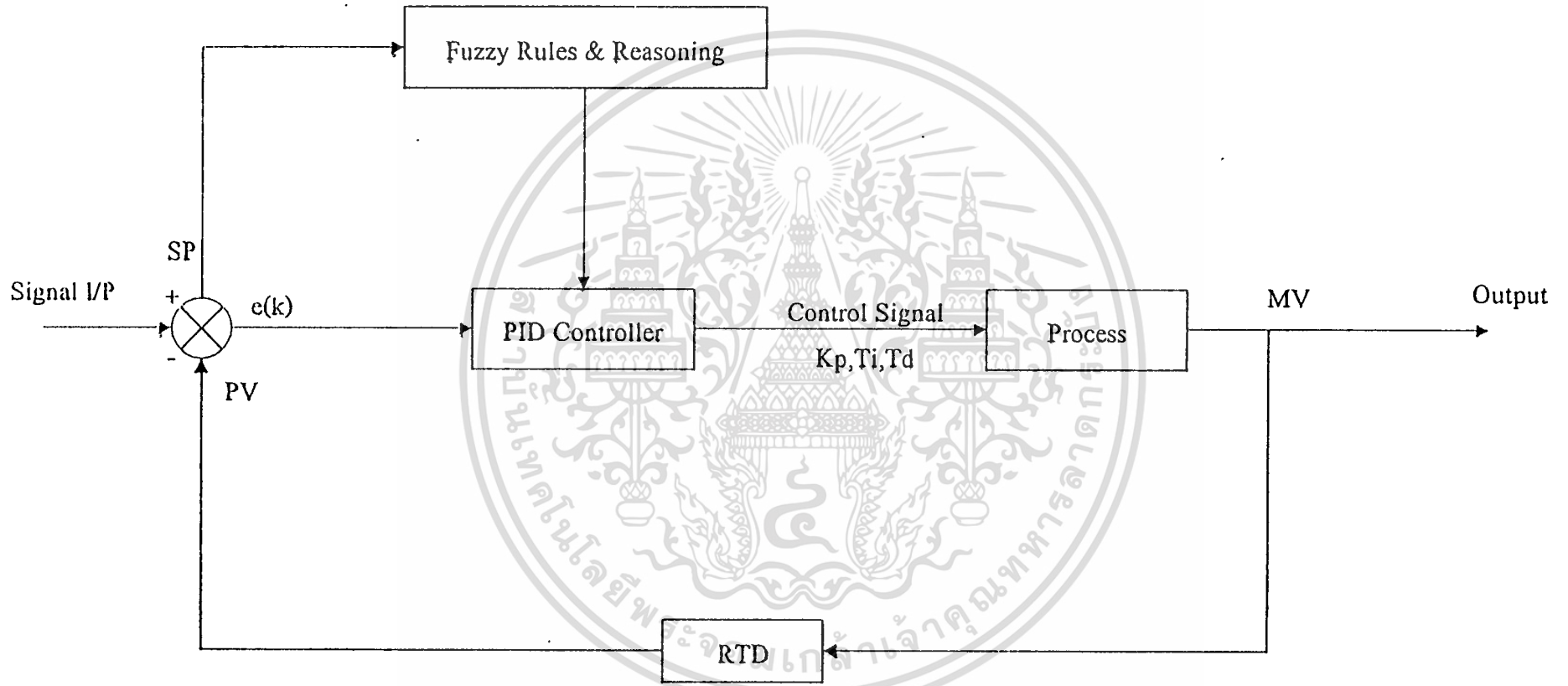
และค่า  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  นั้นจะลงที่ตลอดของการควบคุม แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระบวนการจะมากหรือน้อยอย่างไรก็ตาม ค่า  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ก็ยังคงที่ตลอด ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีนี้ ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญ และมีประสบการณ์ในการสังเกตพฤติกรรมของกระบวนการมากพอ ส่วนการควบคุมด้วยวิธีใช้สูตร Ziegler Nichols นั้น เมื่อหาค่า  $K_u$  และ  $P_u$  ได้แล้วก็ป้อน  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ที่หาได้เข้าสมการ PID ได้เลย แต่ทั้งนี้การควบคุมด้วยการใช้สูตรนี้บางครั้งอาจจะไม่ดีเท่าที่ควรนัก เพราะยังเป็นค่าที่ไม่ละเอียดมากพอ ดังนั้นผู้ควบคุมก็จำเป็นต้องปรับตัวแปรให้เหมาะสมต่อไปด้วยการสังเกตพฤติกรรมของกระบวนการเช่นกัน

- การควบคุมแบบ PID-FUZZY ค่าตัวแปรการควบคุม  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ผู้ควบคุมไม่ต้องป้อนให้เพียงแต่ป้อนค่า  $K_u$ ,  $P_u$  ให้เท่านั้น PID-FUZZY ก็จะหาค่า  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ให้เลย โดยเอาค่าความผิดพลาดของกระบวนการในแต่ละรอบการคำนวณมาหาค่า  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ดังนั้น จะเห็นได้ว่าค่า  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาดของกระบวนการในทุกๆรอบการคำนวณ ซึ่งความละเอียดและความเหมาะสมของค่านั้นก็ขึ้นอยู่กับที่ตั้งกฎและการใช้ทฤษฎีของ Fuzzy ว่าได้สร้างรายละเอียดมากน้อยเพียงไร



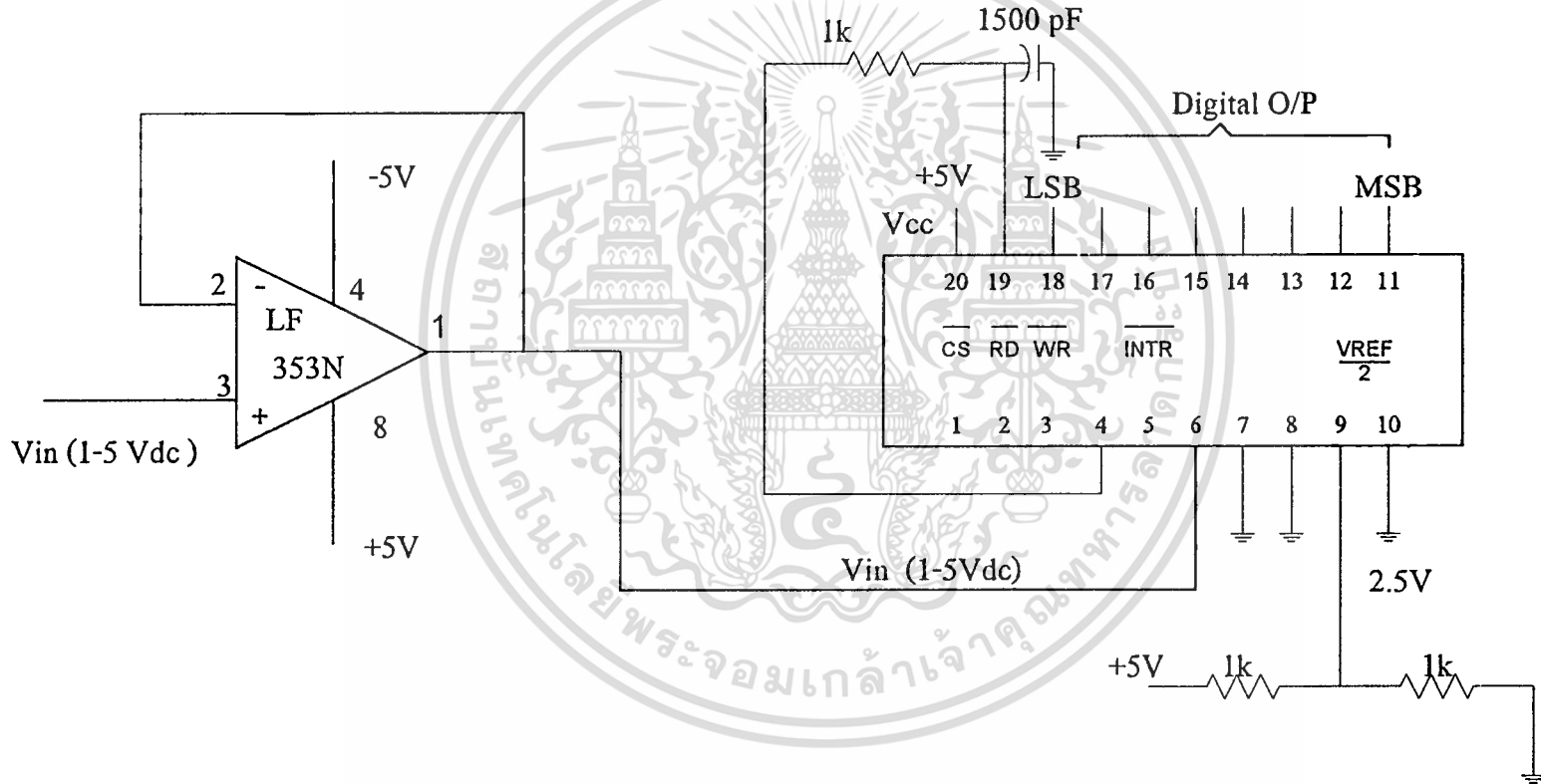


PID Control System With A Fuzzy Gain

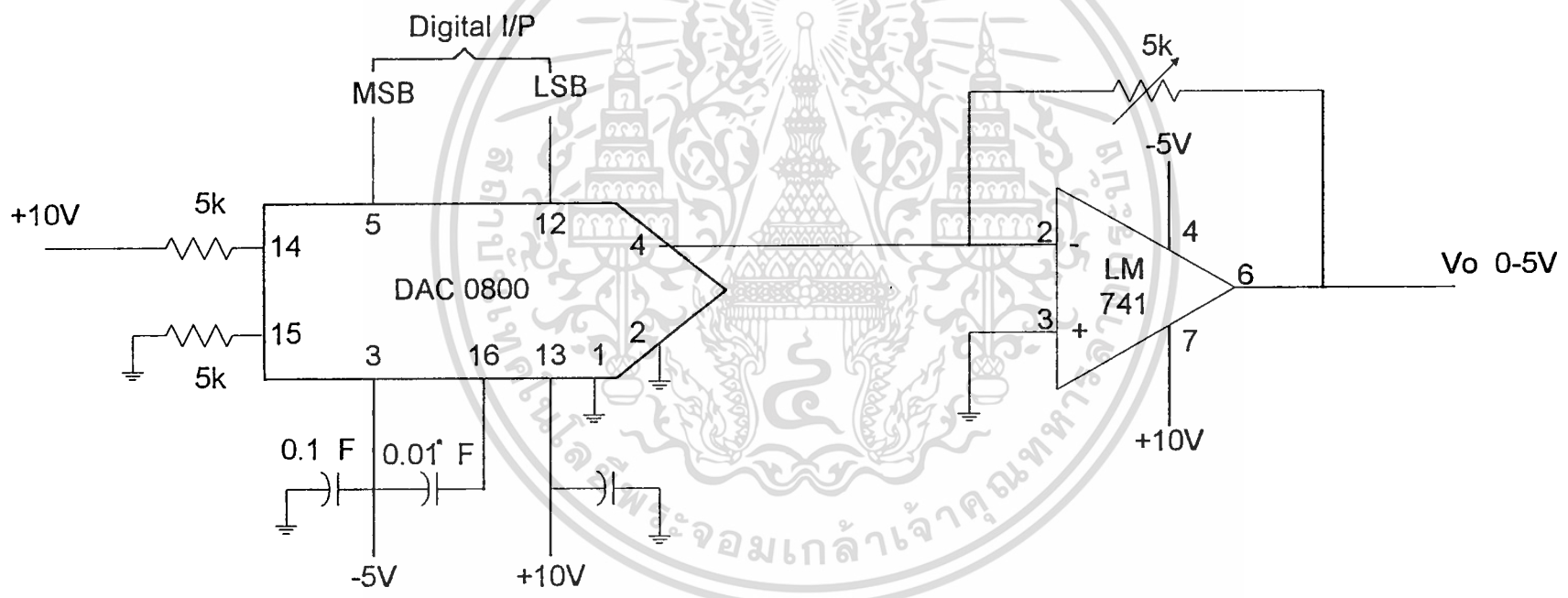


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

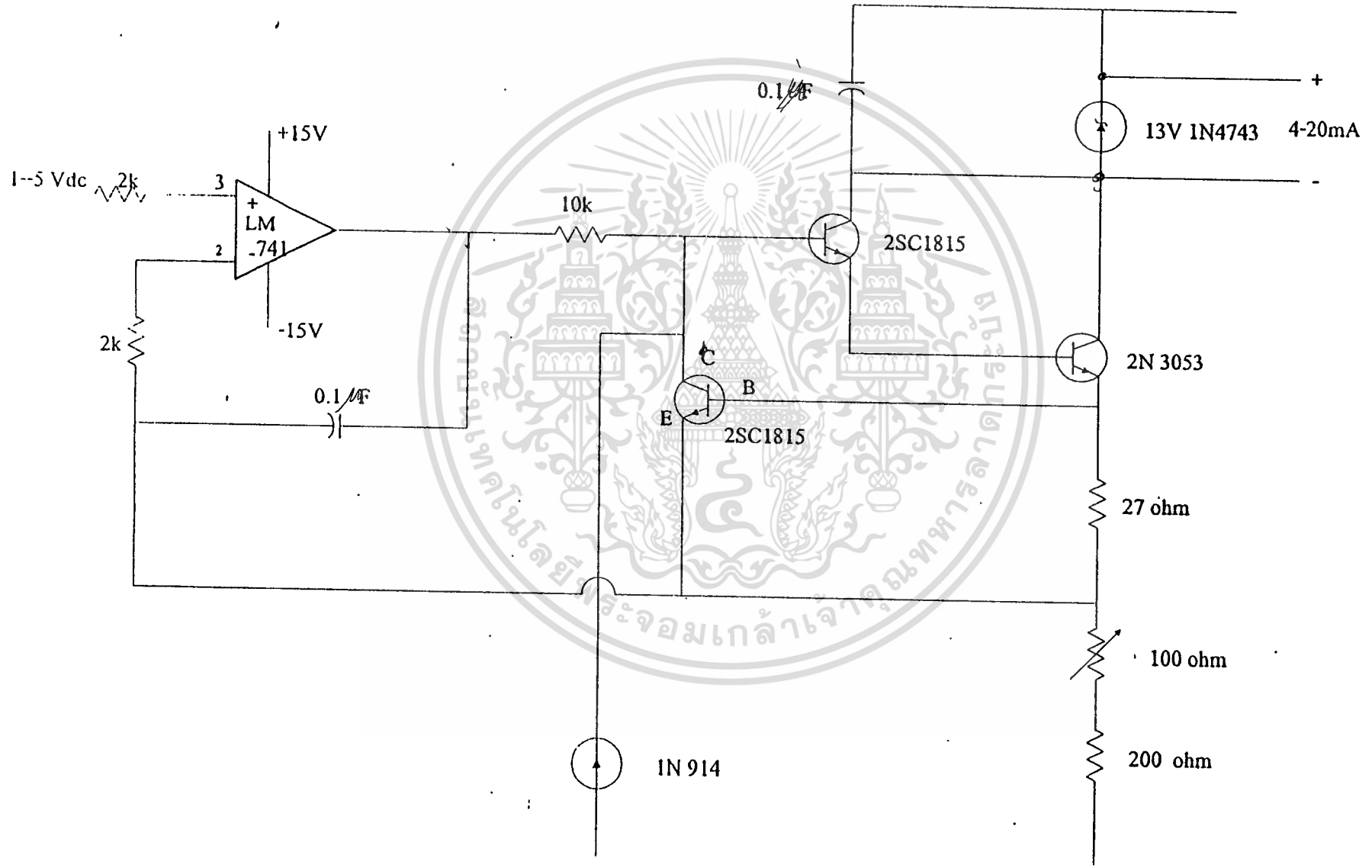
วงจรแปลงสัญญาณ ANALOG เป็น DIGITAL (33-FF)



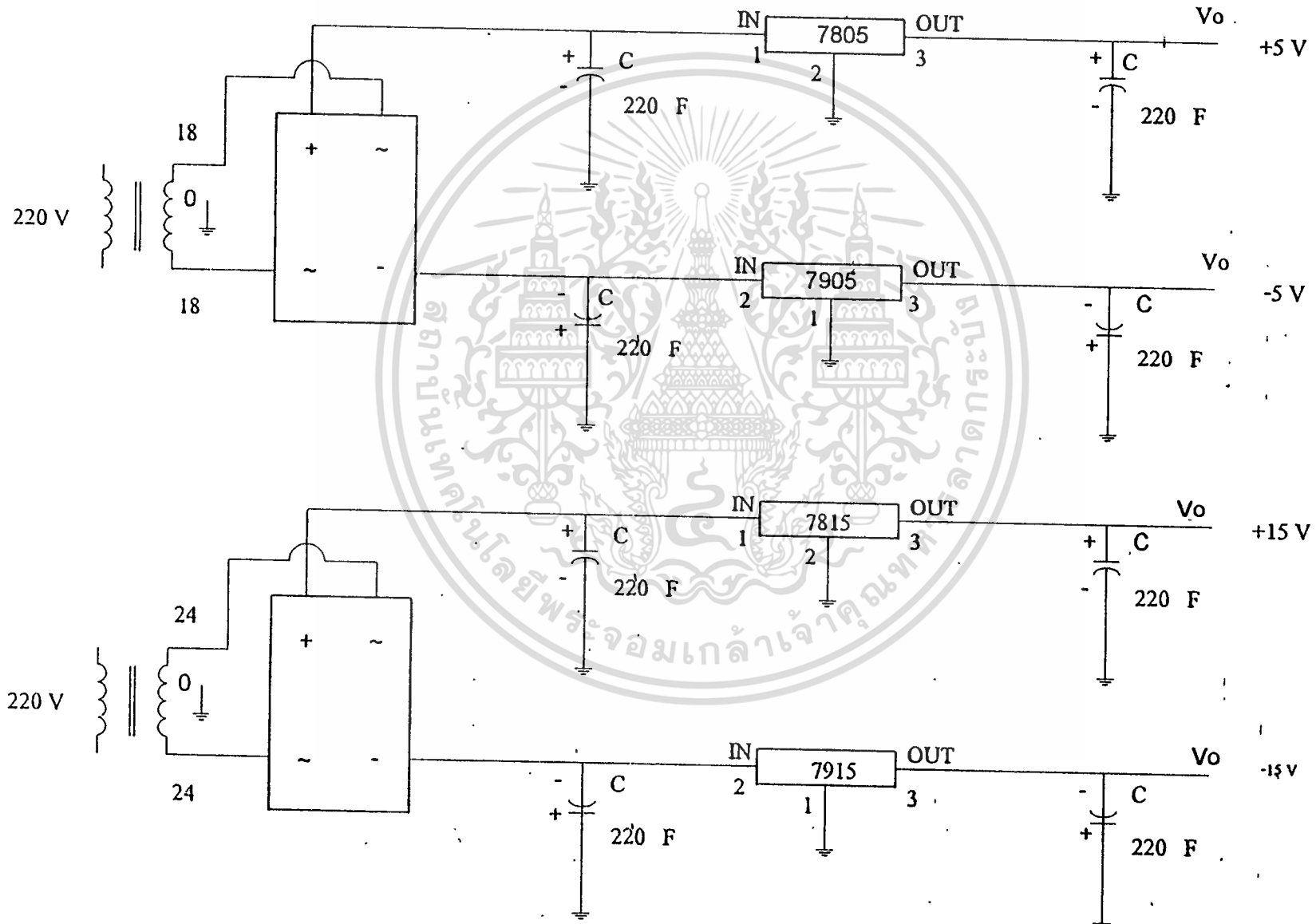
# วงจรแปลงสัญญาณ DIGITAL เป็น ANALOG (0-5 V)



# วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส



# วงจรสร้าง SUPPLY (+5,-5 V & +15,-15 V)



# ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters

## General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE<sup>®</sup> output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

## Features

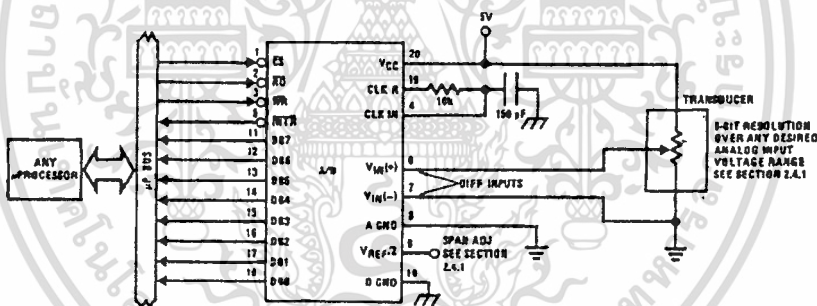
- Compatible with 8080  $\mu$ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub>, 2.5 V<sub>DC</sub>, or analog span adjusted voltage reference

## Key Specifications

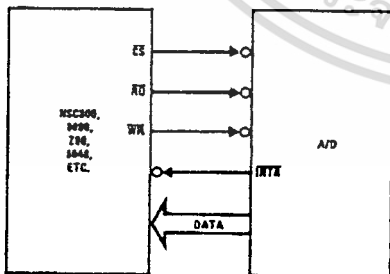
- Resolution 8 bits
- Total error  $\pm 1/4$  LSB,  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Conversion time 100  $\mu$ s

## Typical Applications



TL/H/5671-1

### 8080 Interface



TL/H/5671-31

### Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	V <sub>REF/2</sub> = 2.500 V <sub>DC</sub> (No Adjustments)	V <sub>REF/2</sub> = No Connection (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		$\pm 1$ LSB	
ADC0805			$\pm 1$ LSB

TRI-STATE<sup>®</sup> is a registered trademark of National Semiconductor Corp.  
Z-80<sup>®</sup> is a registered trademark of Zilog Corp.

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805  
8-Bit  $\mu$ P Compatible A/D Converters

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> ) (Note 3)	6.5V
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to (V <sub>CC</sub> +0.3V)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T <sub>A</sub> = 25°C	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

### Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/883	-55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C
ADC0801/02/03/04LCJ	-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C
ADC0804LCN	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C
ADC0802/03/04LCV	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C
ADC0802/03/04LCWM	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C
Range of V <sub>CC</sub>	4.5 V <sub>DC</sub> to 6.3 V <sub>DC</sub>

### Electrical Characteristics

The following specifications apply for V<sub>CC</sub> = 5 V<sub>DC</sub>, T<sub>MIN</sub> ≤ T<sub>A</sub> ≤ T<sub>MAX</sub> and f<sub>CLK</sub> = 640 kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			± 1/4	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 = 2.500 V <sub>DC</sub>			± 1/2	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			± 1/2	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 = 2.500 V <sub>DC</sub>			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	V <sub>REF</sub> /2 - No Connection			± 1	LSB
V <sub>REF</sub> /2 Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		kΩ kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	Gnd - 0.05		V <sub>CC</sub> + 0.05	V <sub>DC</sub>
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		± 1/6	± 1/6	LSB
Power Supply Sensitivity	V <sub>CC</sub> = 5 V <sub>DC</sub> ± 10% Over Allowed V <sub>IN</sub> (+) and V <sub>IN</sub> (-) Voltage Range (Note 4)		± 1/6	± 1/6	LSB

### AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for V<sub>CC</sub> = 5 V<sub>DC</sub> and T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T <sub>C</sub>	Conversion Time	f <sub>CLK</sub> = 640 kHz (Note 6)	103		114	μs
T <sub>C</sub>	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	1/f <sub>CLK</sub>
f <sub>CLK</sub>	Clock Frequency Clock Duty Cycle	V <sub>CC</sub> = 5V, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	INTR tied to WR with CS = 0 V <sub>DC</sub> , f <sub>CLK</sub> = 640 kHz	8770		9708	conv/s
t <sub>w(WR)L</sub>	Width of WR Input (Start Pulse Width)	CS = 0 V <sub>DC</sub> (Note 7)	100			ns
t <sub>ACC</sub>	Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid)	C <sub>L</sub> = 100 pF		135	200	ns
t <sub>1H</sub> , t <sub>0H</sub>	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of RD to Hi-Z State)	C <sub>L</sub> = 10 pF, R <sub>L</sub> = 10k (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t <sub>wI</sub> , t <sub>rI</sub>	Delay from Falling Edge of WR or RD to Reset of INTR			300	450	ns
C <sub>IN</sub>	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C <sub>OUT</sub>	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

**CONTROL INPUTS** (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

V <sub>IN</sub> (1)	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	V <sub>CC</sub> = 5.25 V <sub>DC</sub>	2.0		15	V <sub>DC</sub>
---------------------	---	--	-----	--	----	-----------------

### AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_{CC} = 5V_{DC}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ , unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CONTROL INPUTS</b> [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	$V_{DC}$
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	$\mu A_{DC}$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		$\mu A_{DC}$
<b>CLOCK IN AND CLOCK R</b>						
$V_{T+}$	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	$V_{DC}$
$V_{T-}$	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	$V_{DC}$
$V_H$	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ( $V_{T+}$ ) - ( $V_{T-}$ )		0.6	1.3	2.0	$V_{DC}$
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLKR Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLKR Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
<b>DATA OUTPUTS AND INTR</b>						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	$V_{DC}$ $V_{DC}$
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			$V_{DC}$
$I_{OUT}$	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	$\mu A_{DC}$ $\mu A_{DC}$
$I_{SOURCE}$		$V_{OUT}$ Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6		$m A_{DC}$
$I_{SINK}$		$V_{OUT}$ Short to $V_{CC}$ , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		$m A_{DC}$
<b>POWER SUPPLY</b>						
$I_{CC}$	Supply Current (Includes Ladder Current)  ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM	$f_{CLK} = 640 kHz,$ $V_{REF/2} = NC, T_A = 25^\circ C$ and $\overline{CS} = 5V$			1.1 1.9	1.8 2.5 $m A$ $m A$

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from  $V_{CC}$  to Gnd and has a typical breakdown voltage of 7  $V_{DC}$ .

Note 4: For  $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$  the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. Be careful, during testing at low  $V_{CC}$  levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0  $V_{DC}$  to 5  $V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950  $V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at  $f_{CLK} = 640 kHz$ . At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The  $\overline{CS}$  input is assumed to bracket the  $\overline{WR}$  strobe input and therefore timing is dependent on the  $\overline{WR}$  pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the  $\overline{WR}$  pulse (see timing diagrams).

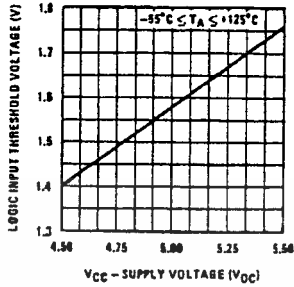
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The  $V_{REF/2}$  pin is the center point of a two-resistor divider connected from  $V_{CC}$  to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k $\Omega$ . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k $\Omega$ .

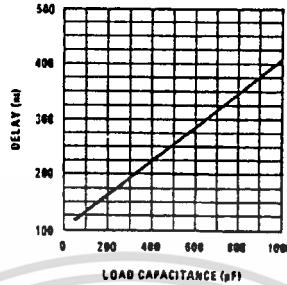
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

## Typical Performance Characteristics

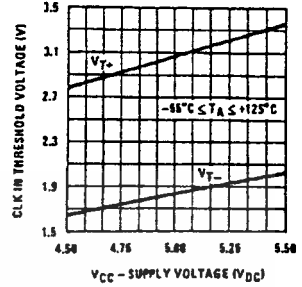
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



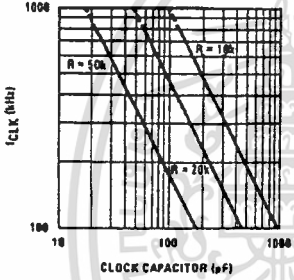
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



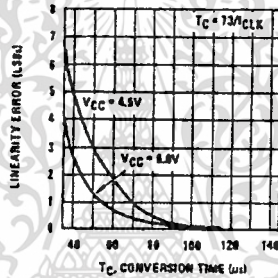
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



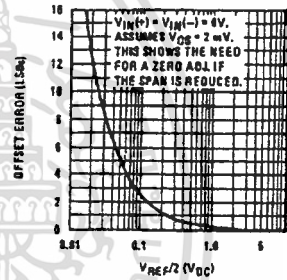
fCLK vs. Clock Capacitor



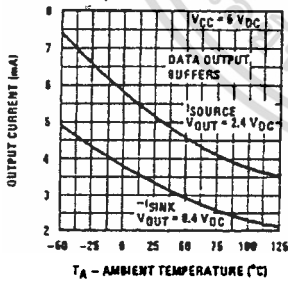
Full-Scale Error vs. Conversion Time



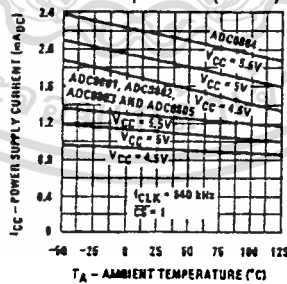
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



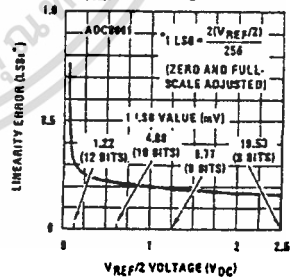
Output Current vs. Temperature



Power Supply Current vs. Temperature (Note 9)

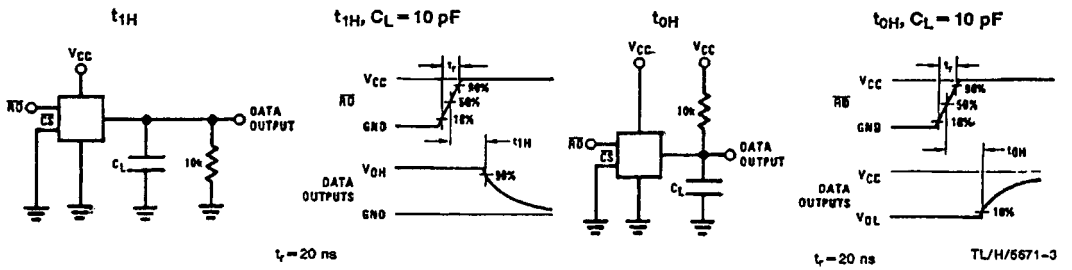


Linearity Error at Low VREF/2 Voltages

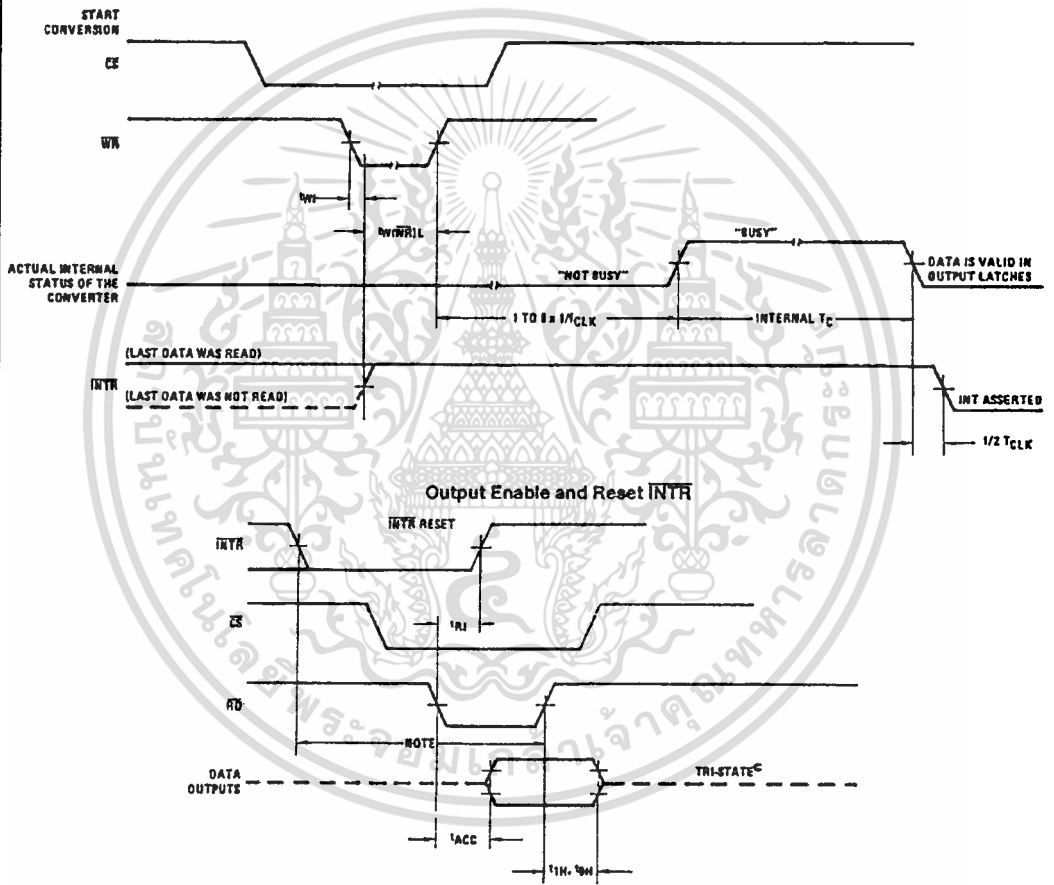


TL/H/5671-2

### TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



### Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)

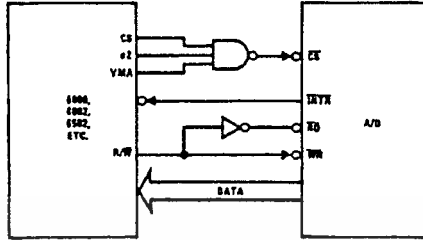


Note: Read strobe must occur 8 clock periods ( $8/T_{CLK}$ ) after assertion of interrupt to guarantee reset of  $\overline{INTR}$ .

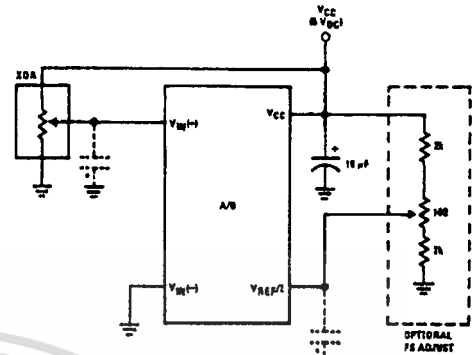
TL/H/5671-4

Typical Applications (Continued)

6800 Interface

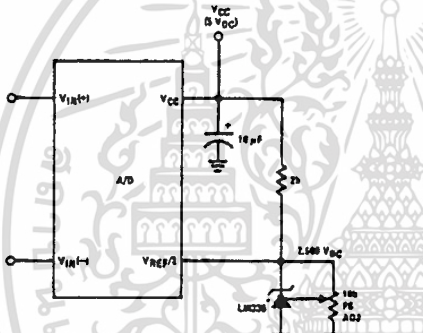


Ratiometric with Full-Scale Adjust



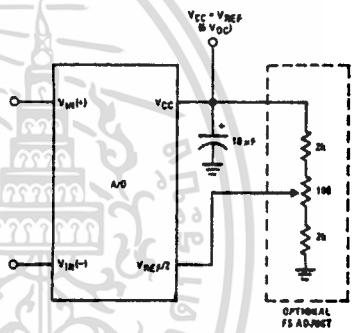
Note: before using caps at  $V_{IN}$  or  $V_{REF}/2$ , see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

Absolute with a 2.500V Reference

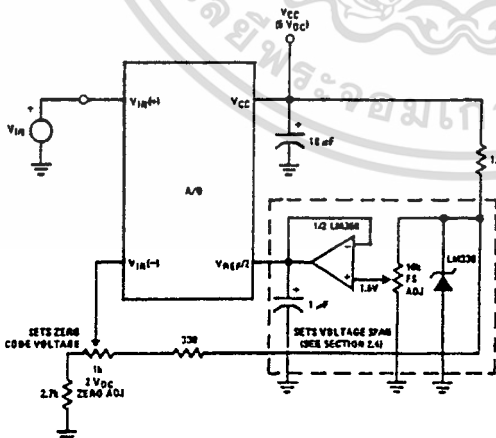


\*For low power, see also LM385-2.5

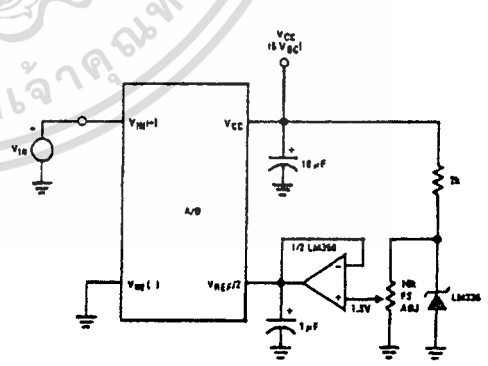
Absolute with a 5V Reference



Zero-Shift and Span Adjust:  $2V \leq V_{IN} \leq 5V$



Span Adjust:  $0V \leq V_{IN} \leq 3V$

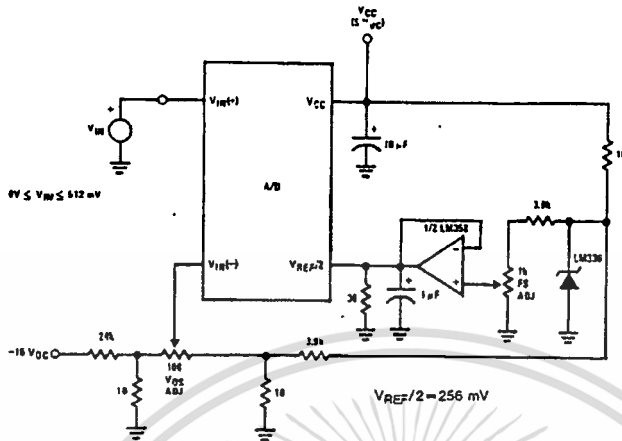


TL/H/5671-5

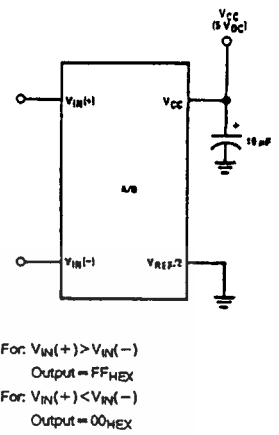
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Directly Converting a Low-Level Signal

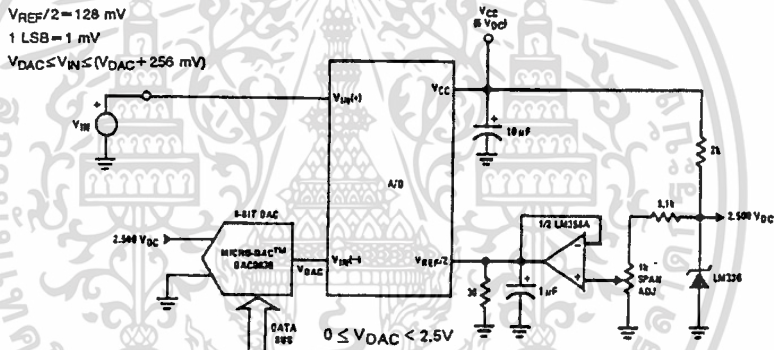


A  $\mu$ P Interfaced Comparator

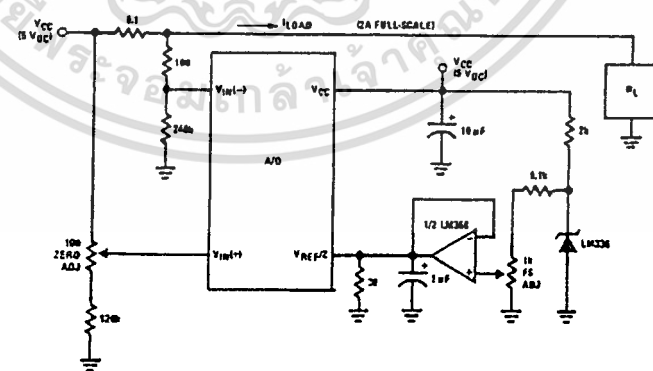


For  $V_{IN(+)} > V_{IN(-)}$   
Output = FF<sub>HEX</sub>  
For  $V_{IN(+)} < V_{IN(-)}$   
Output = 00<sub>HEX</sub>

1 mV Resolution with  $\mu$ P Controlled Range



Digitizing a Current Flow

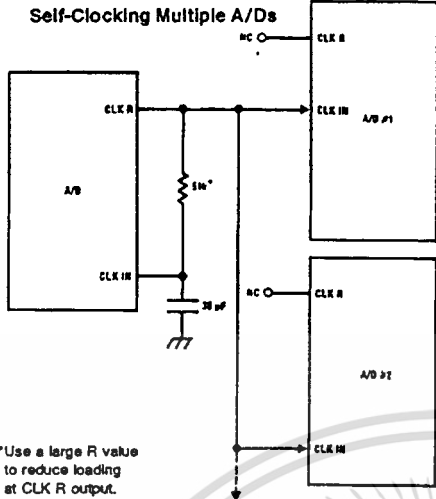


TL/H/5671-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

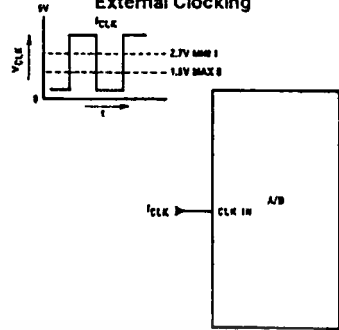
Self-Clocking Multiple A/Ds



\*Use a large R value to reduce loading at CLK R output.

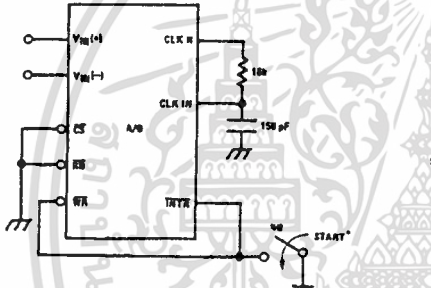
IF MORE THAN 8 ADDITIONAL A/Ds USE A CMOS BUFFER DRIVEN<sup>(1)</sup>

External Clocking



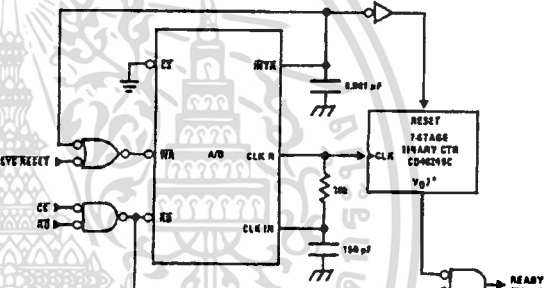
100 kHz ≤ CLK ≤ 1460 kHz

Self-Clocking in Free-Running Mode



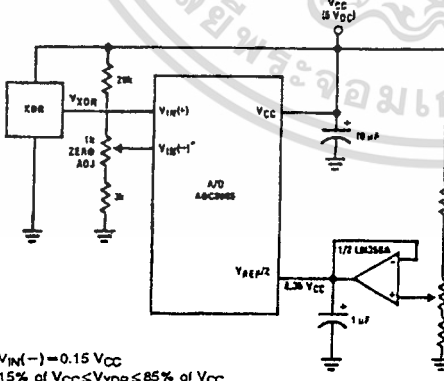
\*After power-up, a momentary grounding of the WR input is needed to guarantee operation.

μP Interface for Free-Running A/D



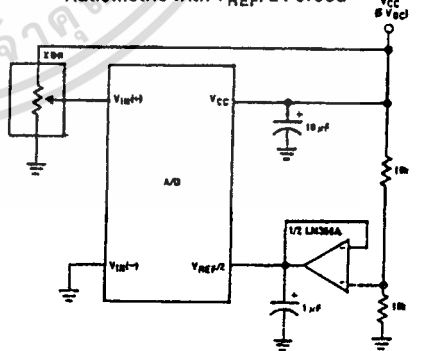
$t_{RESET} = 10 \mu s$   
 $t_{READY} = 172 \mu s$   
 PREVENTS RD BEING A/D DATA UPDATE

Operating with "Automotive" Ratio-metric Transducers



\* $V_{IN(-)} = 0.15 V_{CC}$   
 $15\% \text{ of } V_{CC} \leq V_{XDR} \leq 85\% \text{ of } V_{CC}$

Ratio-metric with  $V_{REF}/2$  Forced

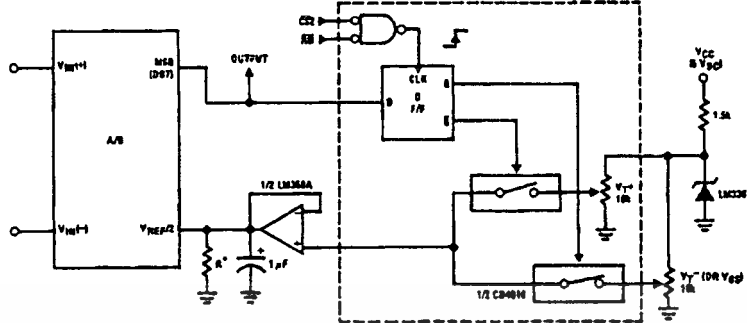


TU/H/5671-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

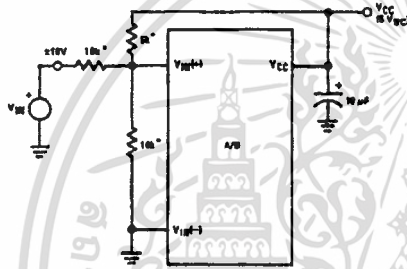
## Typical Applications (Continued)

$\mu$ P Compatible Differential-Input Comparator with Pre-Set  $V_{OS}$  (with or without Hysteresis)



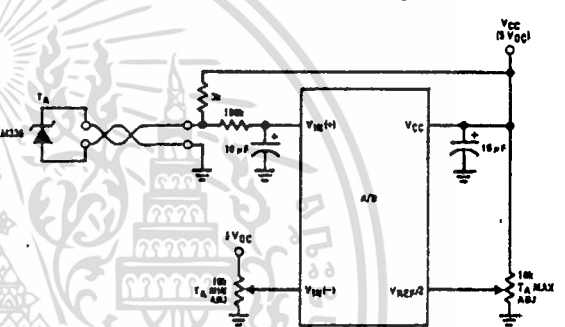
\*See Figure 5 to select R value  
 DB7 = "1" for  $V_{IN}(+) > V_{IN}(-) + (V_{REF}/2)$   
 Omit circuitry within the dotted area if  
 hysteresis is not needed

Handling  $\pm 10V$  Analog Inputs

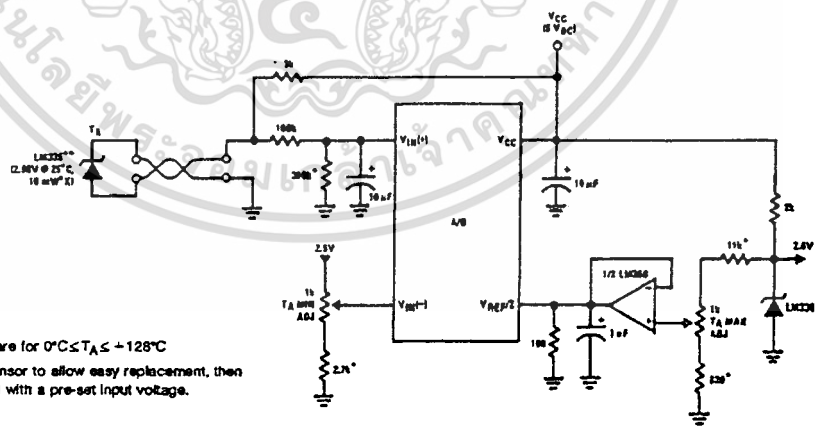


\*Beckman Instruments #694-3-R10K resistor array

Low-Cost,  $\mu$ P Interfaced, Temperature-to-Digital Converter



$\mu$ P Interfaced Temperature-to-Digital Converter

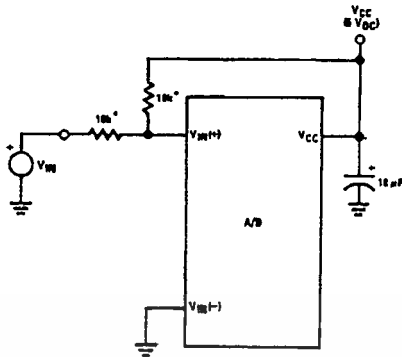


\*Circuit values shown are for  $0^\circ C \leq T_A \leq +128^\circ C$   
 \*\*Can calibrate each sensor to allow easy replacement, then  
 A/D can be calibrated with a pre-set input voltage.

TL/H/5671-6

**Typical Applications (Continued)**

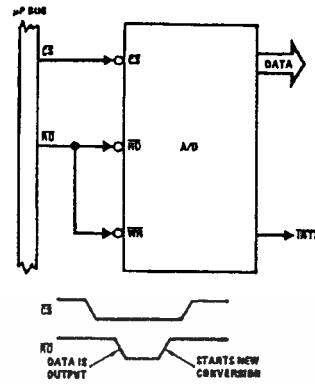
**Handling  $\pm 5V$  Analog Inputs**



TL/H/5671-33

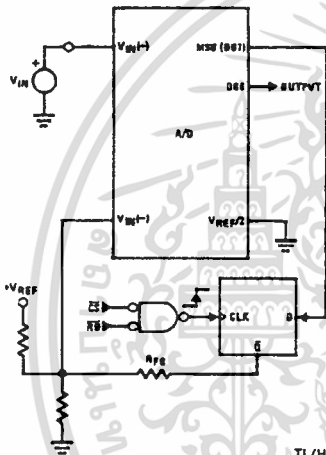
\*Beckman Instruments # 694-3-R10K resistor array

**Read-Only Interface**



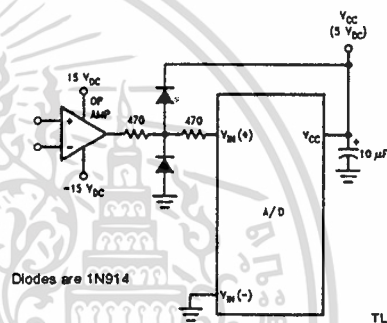
TL/H/5671-34

**$\mu P$  Interfaced Comparator with Hysteresis**



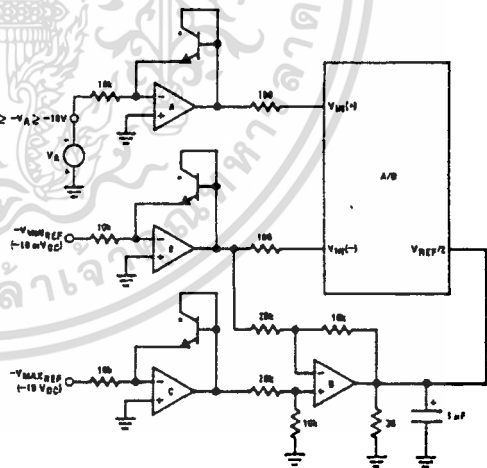
TL/H/5671-35

**Protecting the Input**



TL/H/5671-9

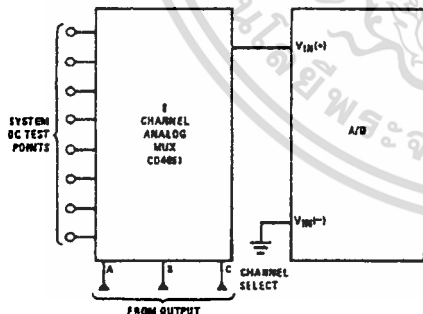
**A Low-Cost, 3-Decade Logarithmic Converter**



TL/H/5671-37

\*LM389 transistors  
A, B, C, D = LM324A quad op amp

**Analog Self-Test for a System**

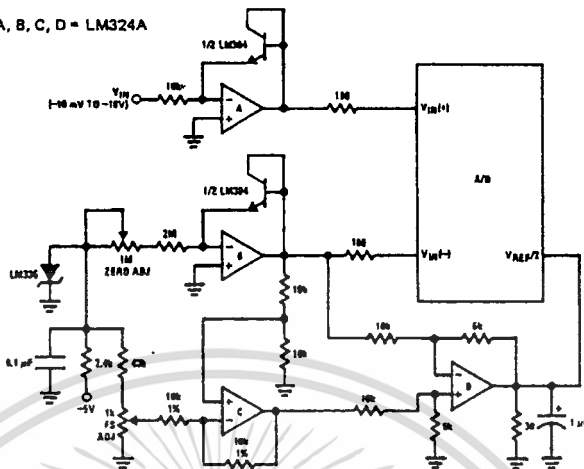


TL/H/5671-36

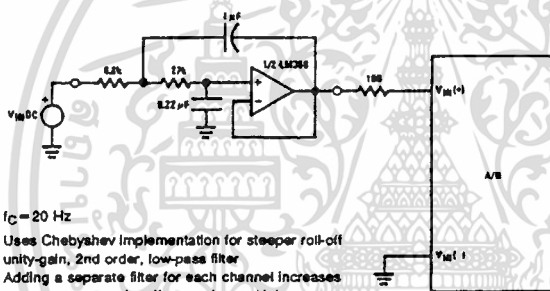
Typical Applications (Continued)

3-Decade Logarithmic A/D Converter

A, B, C, D = LM324A



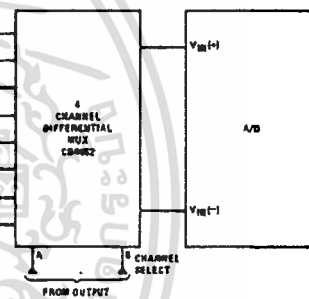
Noise Filtering the Analog Input



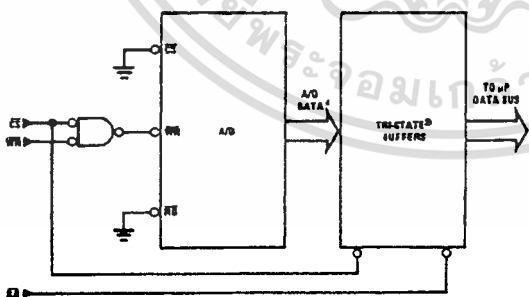
$f_c = 20 \text{ Hz}$

Uses Chebyshev Implementation for steeper roll-off unity-gain, 2nd order, low-pass filter  
Adding a separate filter for each channel increases system response time if an analog multiplexer is used

Multiplexing Differential Inputs

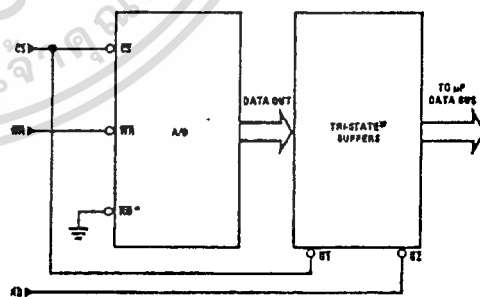


Output Buffers with A/D Data Enabled



\*A/D output data is updated 1 CLK period prior to assertion of INTR

Increasing Bus Drive and/or Reducing Time on Bus

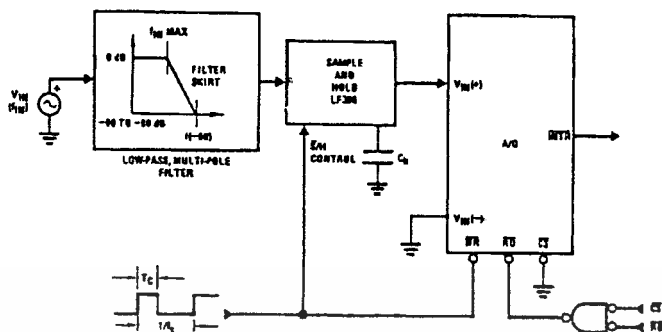


\*Allows output data to set-up at falling edge of CS

TL/H/5671-10

Typical Applications (Continued)

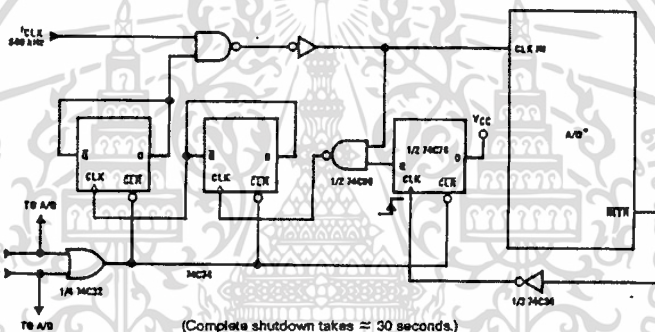
Sampling an AC Input Signal



Note 1: Oversample whenever possible [keep  $f_s > 2f(-60)$ ] to eliminate input frequency folding (aliasing) and to allow for the skirt response of the filter.

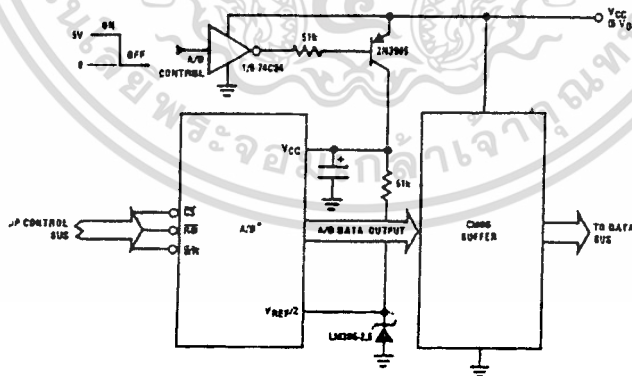
Note 2: Consider the amplitude errors which are introduced within the passband of the filter.

70% Power Savings by Clock Gating



(Complete shutdown takes  $\approx$  30 seconds.)

Power Savings by A/D and VREF Shutdown



\*Use ADC0801, 02, 03 or 05 for lowest power consumption.

Note: Logic Inputs can be driven to  $V_{CC}$  with A/D supply at zero volts.

Buffer prevents data bus from overdriving output of A/D when in shutdown mode.

TL/H/5671-11

# DAC0800/DAC0801/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

## General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V<sub>p-p</sub> with simple resistor loads as shown in *Figure 1*. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V<sub>LC</sub>, grounded. Changing the V<sub>LC</sub> potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C, DAC0801C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, DAC-08E and DAC-08H, respectively.

## Features

- Fast settling output current 100 ns
- Full scale error ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature ±0.1%
- Full scale current drift ±10 ppm/°C
- High output compliance -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range ±4.5V to ±18V
- Low power consumption 33 mW at ±5V
- Low cost

## Typical Applications

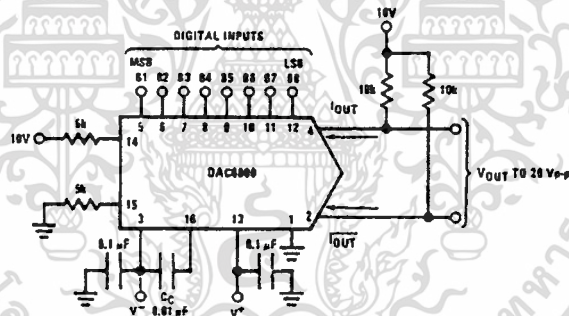


FIGURE 1. ±20 V<sub>p-p</sub> Output Digital-to-Analog Converter (Note 4)

TL/H/5686-1

## Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A)*		N Package (N16A)*		SO Package (M16A)
±0.1% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM
±0.39% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C			DAC0801LCN	DAC-08CP	DAC0801LCM

\*Devices may be ordered by using either order number.

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V+ - V-)	±18V or 36V
Power Dissipation (Note 2)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V- to V+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V- to V+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V- to V- plus 36V
Analog Current Outputs (V <sub>S</sub> = -15V)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 3)	TBD V
Storage Temperature	-65°C to +150°C

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

### Operating Conditions (Note 1)

	Min	Max	Units
Temperature (T <sub>A</sub> )			
DAC0800L	-55	+125	°C
DAC0800LC	0	+70	°C
DAC0801LC	0	+70	°C
DAC0802LC	0	+70	°C

**Electrical Characteristics** The following specifications apply for V<sub>S</sub> = ±15V, I<sub>REF</sub> = 2 mA and T<sub>MIN</sub> ≤ T<sub>A</sub> ≤ T<sub>MAX</sub> unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I<sub>OUT</sub> and I<sub>OUT</sub>.

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			DAC0801LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				±0.1			±0.19				%FS
t <sub>d</sub>	Settling Time	T <sub>O</sub> ± 1/2 LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", T <sub>A</sub> = 25°C		100	135					100	150	ns
		DAC0800L				100	135					ns
		DAC0800LC				100	150					ns
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Each Bit	T <sub>A</sub> = 25°C		35	60		35	60		35	60	ns
	All Bits Switched			35	60		35	60		35	60	ns
TCI <sub>FS</sub>	Full Scale Tempco			±10	±50		±10	±50		±10	±80	ppm/°C
V <sub>OC</sub>	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change < 1/2 LSB, R <sub>OUT</sub> > 20 MΩ Typ	-10		18	-10		18	-10		18	V
I <sub>FS4</sub>	Full Scale Current	V <sub>REF</sub> = 10.000V, R <sub>14</sub> = 5.000 kΩ, R <sub>15</sub> = 5.000 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	1.94	1.99	2.04	mA
I <sub>FS5</sub>	Full Scale Symmetry	I <sub>FS4</sub> - I <sub>FS2</sub>		±0.5	±4.0		±1	±8.0		±2	±16	μA
I <sub>ZS</sub>	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0		0.2	4.0	μA
I <sub>FSR</sub>	Output Current Range	V- = -5V V- = -8V to -18V	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
V <sub>IL</sub> , V <sub>IH</sub>	Logic Input Levels Logic "0" Logic "1"	V <sub>LC</sub> = 0V	2.0		0.8	2.0		0.8	2.0		0.8	V
I <sub>IL</sub> , I <sub>IH</sub>	Logic Input Current Logic "0" Logic "1"	V <sub>LC</sub> = 0V -10V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ +0.8V 2V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ +18V		-2.0	-10		-2.0	-10		-2.0	-10	μA
				0.002	10		0.002	10		0.002	10	μA
V <sub>IS</sub>	Logic Input Swing	V- = -15V	-10		18	-10		18	-10		18	V
V <sub>THR</sub>	Logic Threshold Range	V <sub>S</sub> = ±15V	-10		13.5	-10		13.5	-10		13.5	V
I <sub>15</sub>	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
di/dt	Reference Input Slew Rate (Figure 12)		4.0	8.0		4.0	8.0		4.0	8.0		mA/μs
PSSI <sub>FS+</sub> , PSSI <sub>FS-</sub>	Power Supply Sensitivity	4.5V ≤ V+ ≤ 18V -4.5V ≤ V- ≤ 18V I <sub>REF</sub> = 1mA		0.0001	0.01		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
I <sub>+</sub> , I <sub>-</sub>	Power Supply Current	V <sub>S</sub> = ±5V, I <sub>REF</sub> = 1 mA		2.3	3.8		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
				-4.3	-5.8		-4.3	-5.8		-4.3	-5.8	mA
		V <sub>S</sub> = 5V, -15V, I <sub>REF</sub> = 2 mA		2.4	3.8		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
				-6.4	-7.8		-6.4	-7.8		-6.4	-7.8	mA
		V <sub>S</sub> = ±15V, I <sub>REF</sub> = 2 mA		2.5	3.8		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
				-6.5	-7.8		-6.5	-7.8		-6.5	-7.8	mA

### Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $I_{REF} = 2\text{ mA}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  unless otherwise specified. Output characteristics refer to both  $I_{OUT}$  and  $\overline{I_{OUT}}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			DAC0801LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$P_D$	Power Dissipation	$\pm 5V, I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48		33	48	mW
		$5V, -15V, I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V, I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174		135	174	mW

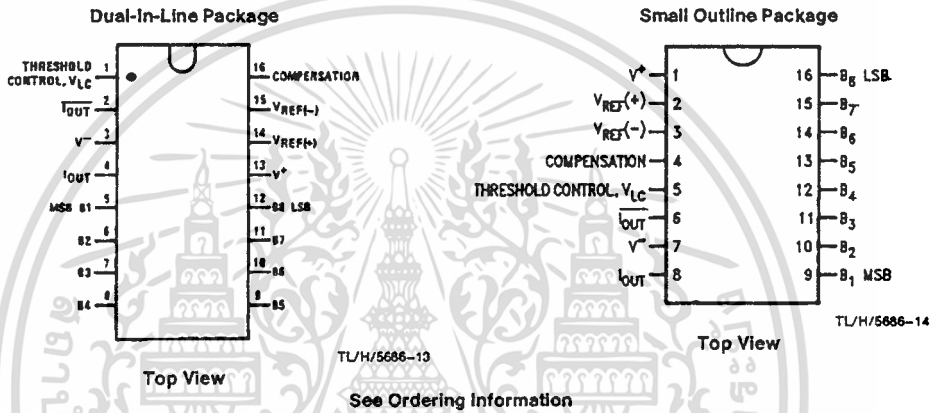
Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: The maximum junction temperature of the DAC0800, DAC0801 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

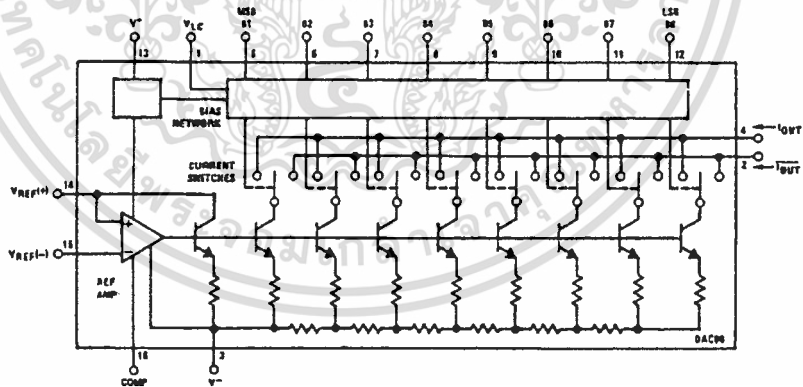
Note 3: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 4: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

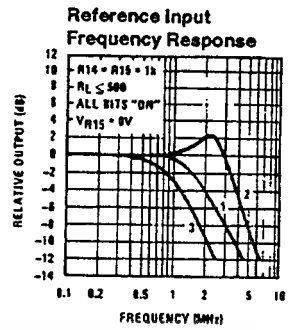
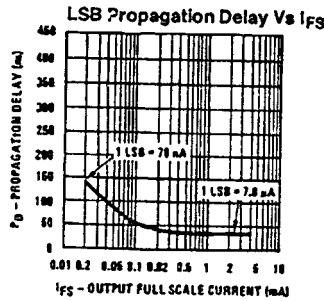
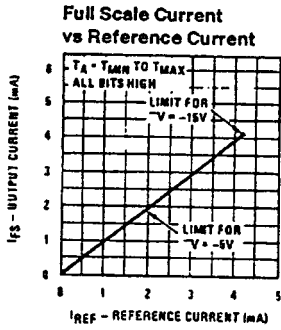
### Connection Diagrams



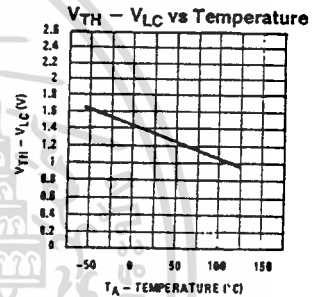
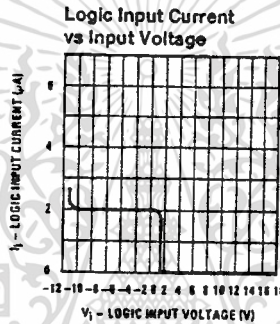
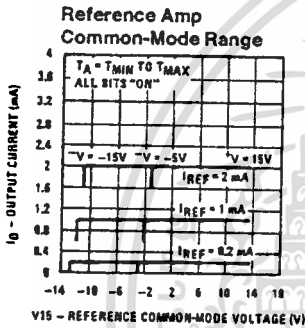
### Block Diagram (Note 4)



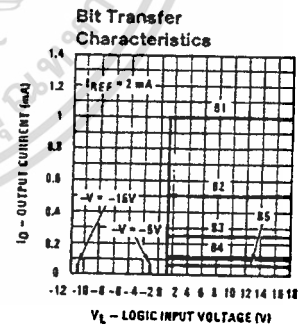
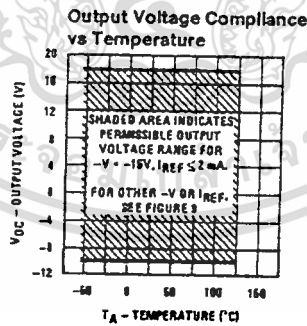
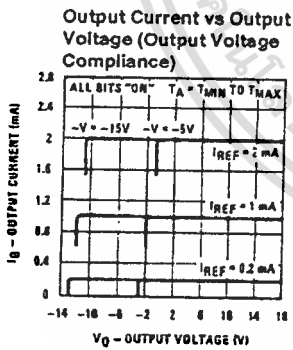
# Typical Performance Characteristics



Curve 1:  $C_C = 15$  pF,  $V_{IN} = 2$  Vp-p centered at 1V.  
 Curve 2:  $C_C = 15$  pF,  $V_{IN} = 50$  mVp-p centered at 200 mV.  
 Curve 3:  $C_C = 0$  pF,  $V_{IN} = 100$  mVp-p at 0V and applied through 50  $\Omega$  connected to pin 14.2V applied to R14.



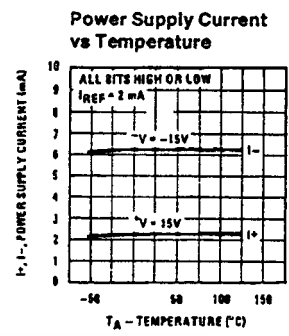
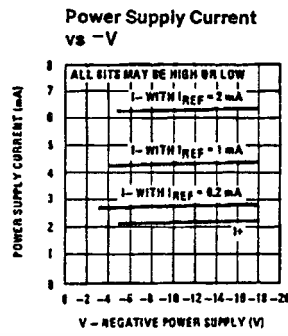
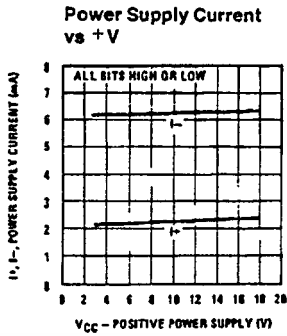
Note. Positive common-mode range is always  $(V+) - 1.5V$



TL/H/5686-3

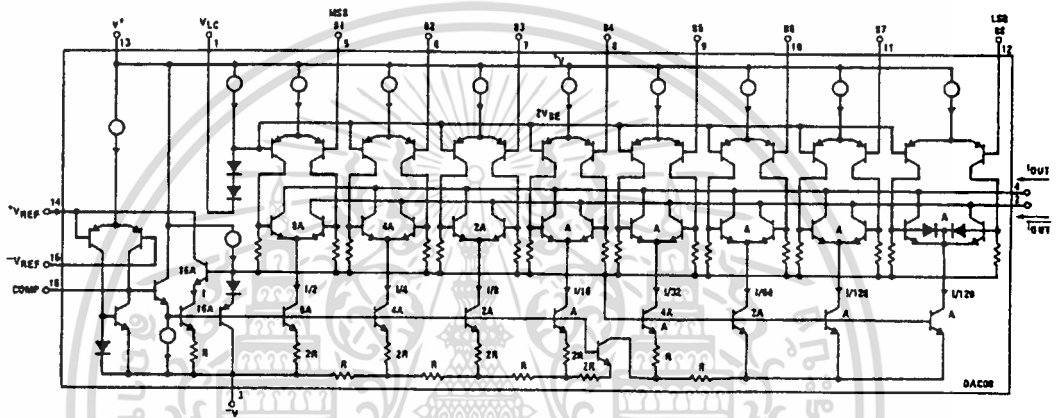
Note. B1-B5 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than  $1/2$  LSB error, at less than  $\pm 100$  mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range ( $V_{LC} = 0V$ ).

### Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5688-4

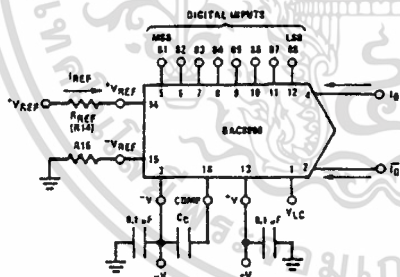
### Equivalent Circuit



TL/H/5688-15

### Typical Applications (Continued)

FIGURE 2



$$I_{FS} \approx \frac{+V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

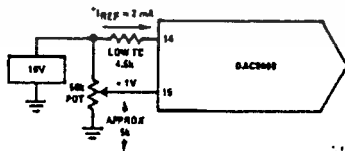
$I_O + \bar{I}_O = I_{FS}$  for all logic states

For fixed reference, TTL operation, typical values are:

- $V_{REF} = 10.000V$
- $R_{REF} = 5.000k$
- $R_{15} = R_{REF}$
- $C_C = 0.01 \mu F$
- $V_{LC} = 0V$  (Ground)

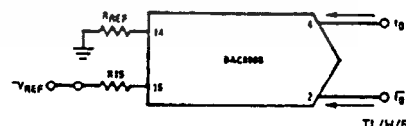
TL/H/5688-5

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 4)



TL/H/5688-21

FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 4)



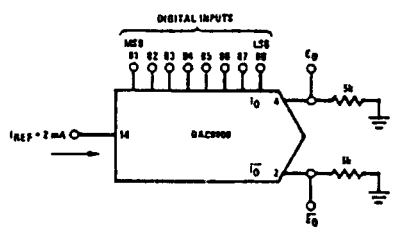
TL/H/5688-16

$$I_{FS} \approx \frac{-V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

Note:  $R_{REF}$  sets  $I_{FS}$ ;  $R_{15}$  is for bias current cancellation

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 4)

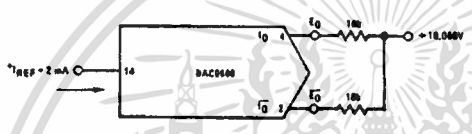
Typical Applications (Continued)



TL/H/5686-17

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I <sub>0</sub> mA	I <sub>1</sub> mA	E <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale + LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-9.960

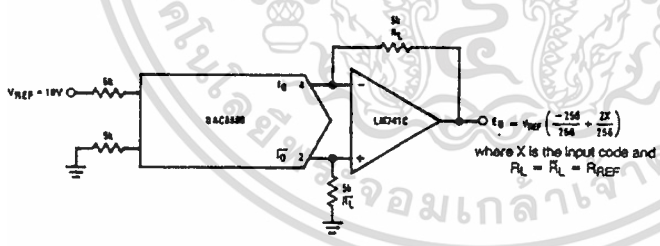
FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 4)



TL/H/5686-6

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 4)



TL/H/5686-18

If  $R_L = R_L$  within  $\pm 0.05\%$ , output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E <sub>0</sub>
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.960
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.880
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(-)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	-0.040
Neg. Full Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-9.880
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.960

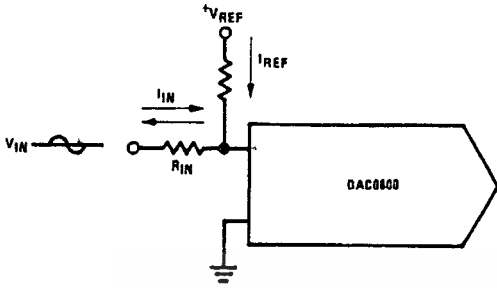
FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

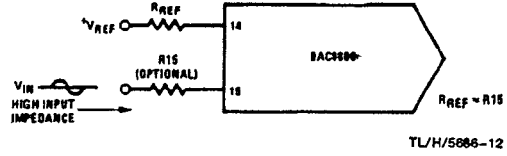


Typical Applications (Continued)

(a)  $I_{REF} \geq$  peak negative swing of  $I_{IN}$



(b)  $+V_{REF}$  must be above peak positive swing of  $V_{IN}$



TL/H/5686-12

TL/H/5686-11

FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 4)

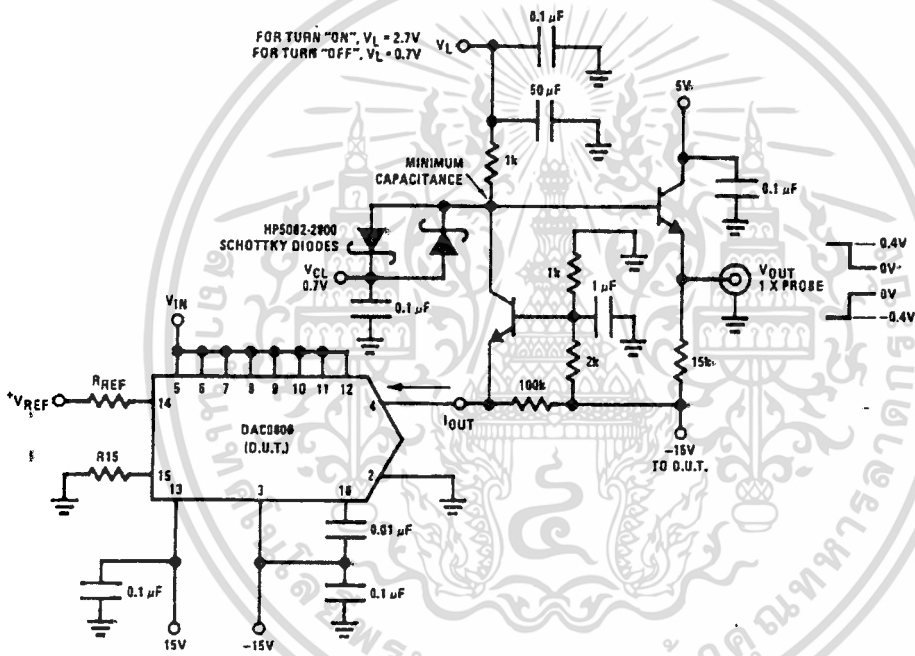


FIGURE 14. Settling Time Measurement (Note 4)

TL/H/5686-7



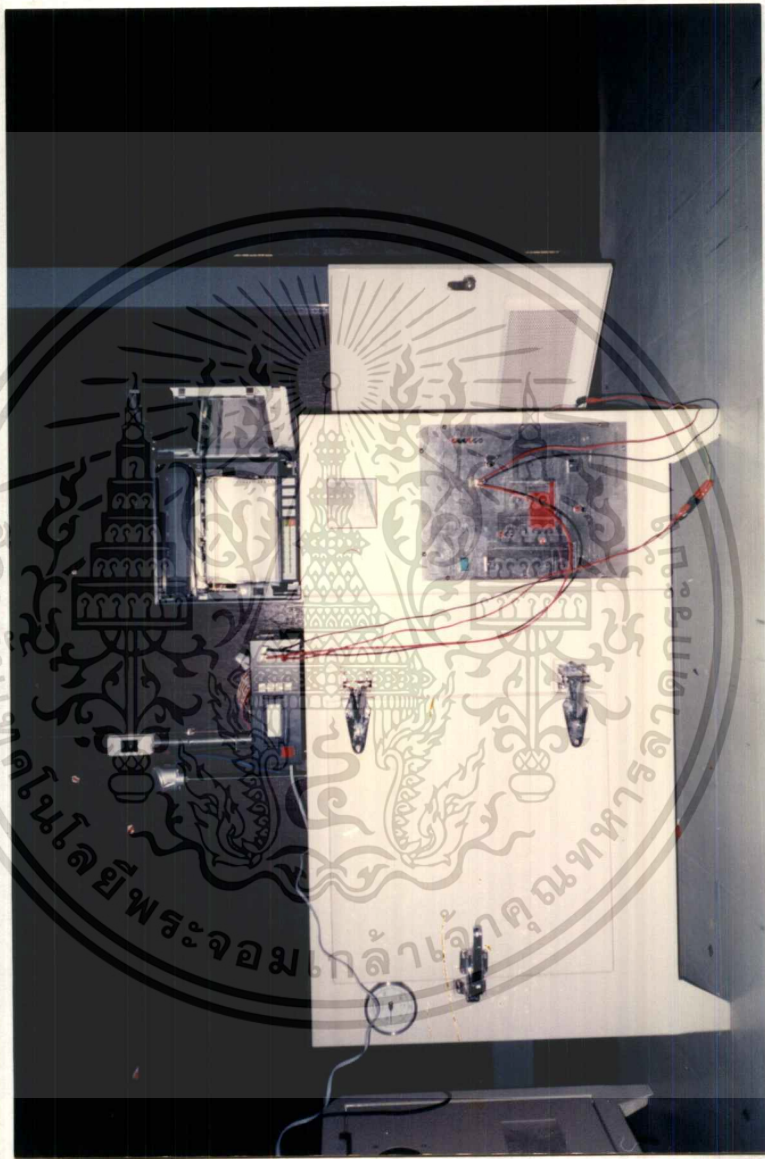




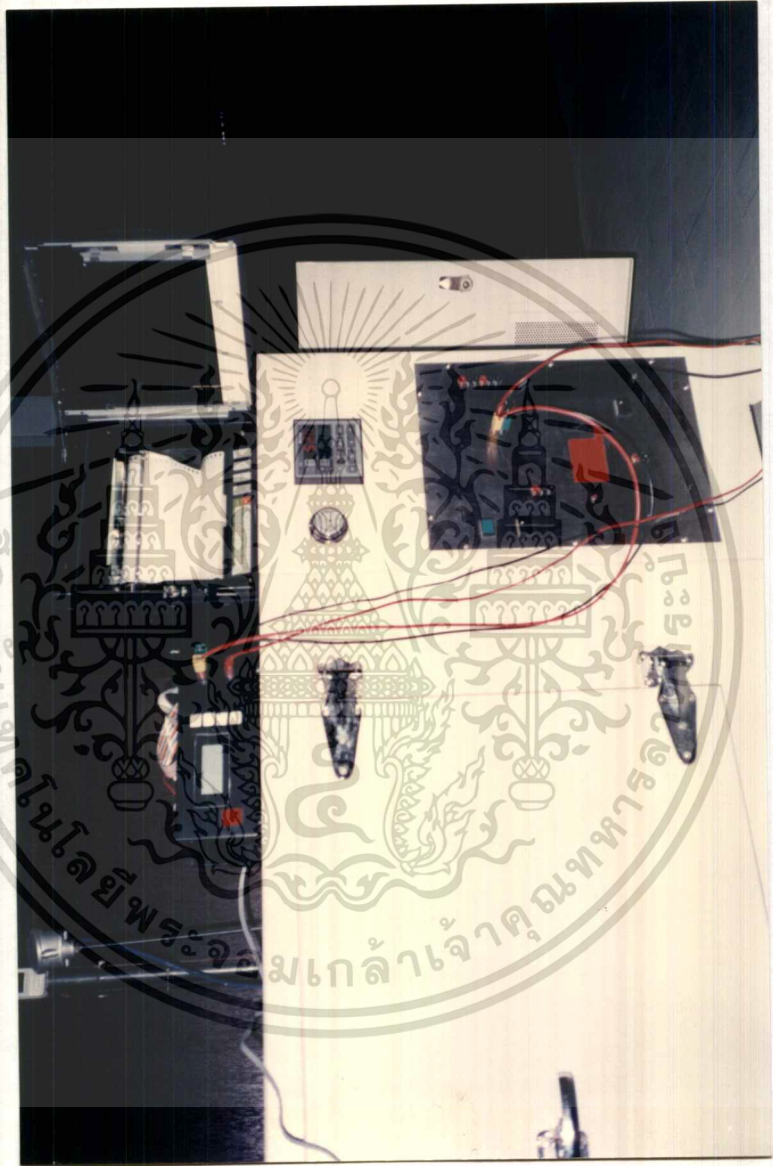
ภาคผนวก ข

รูปภาพประกอบการทดลอง

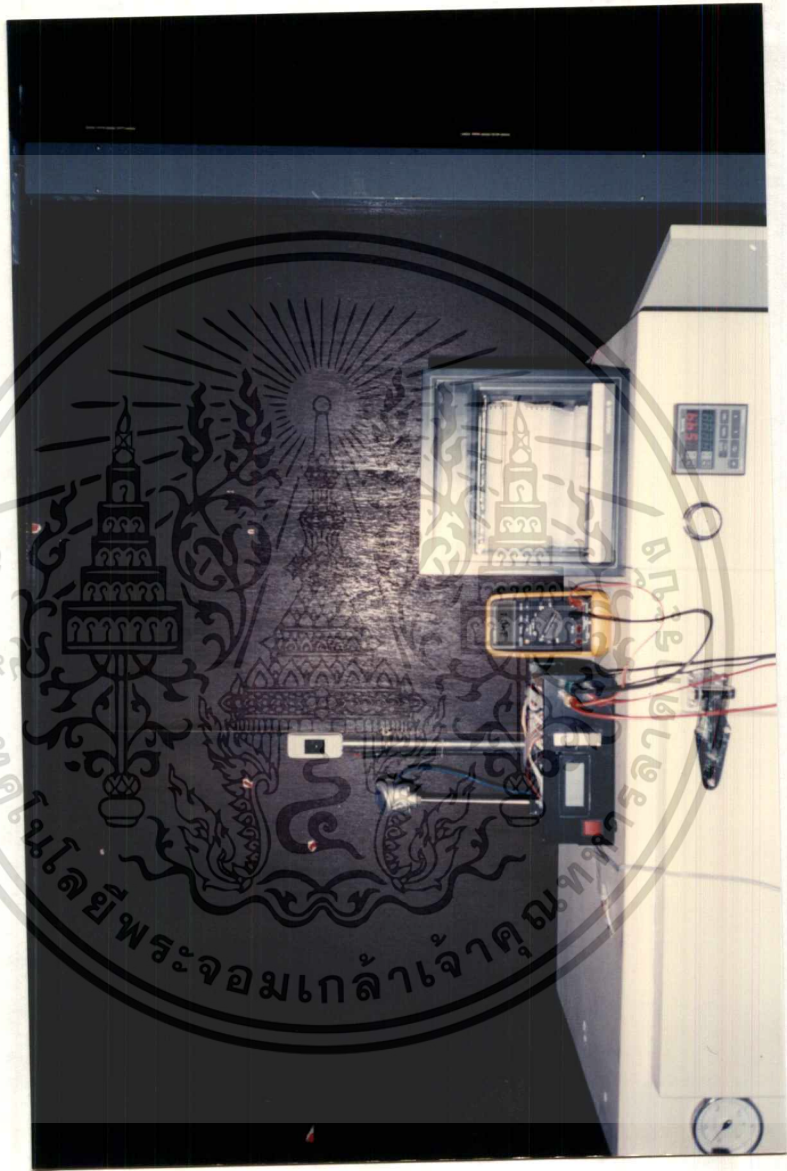
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



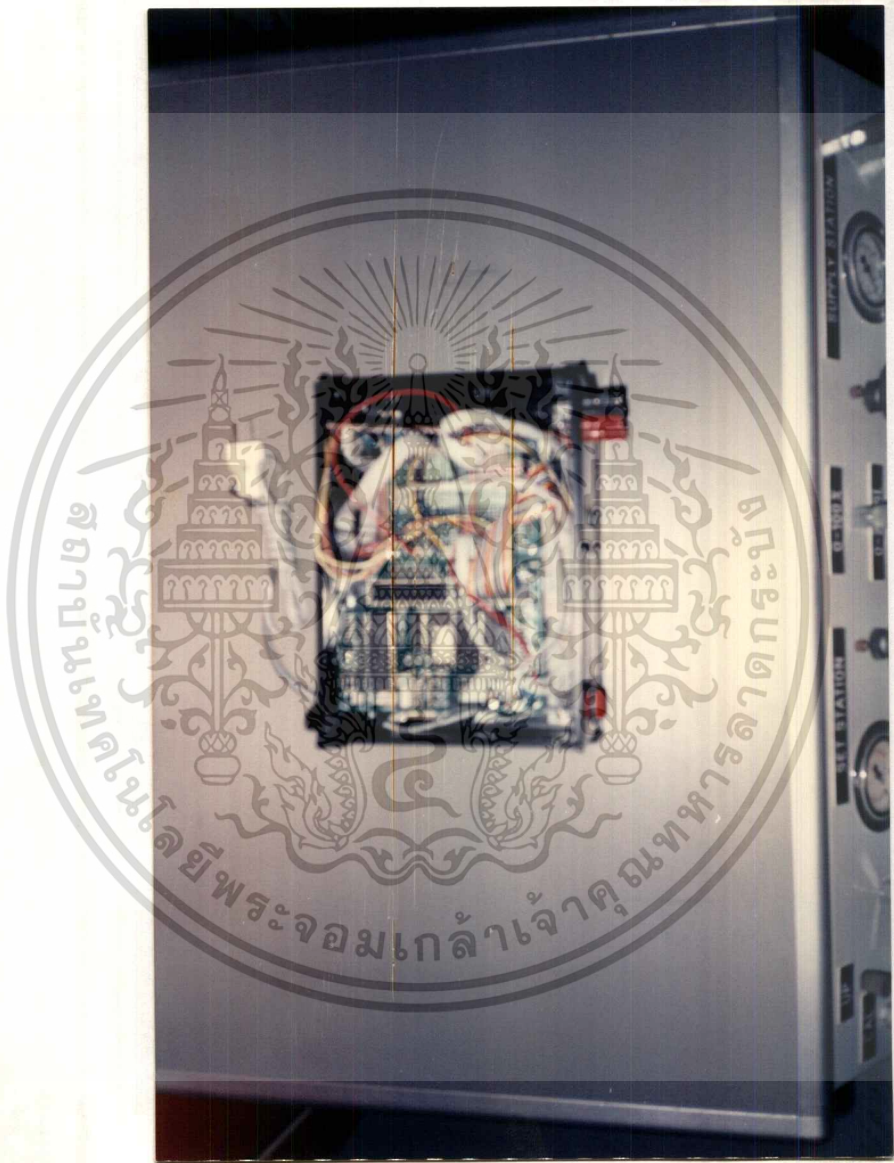
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



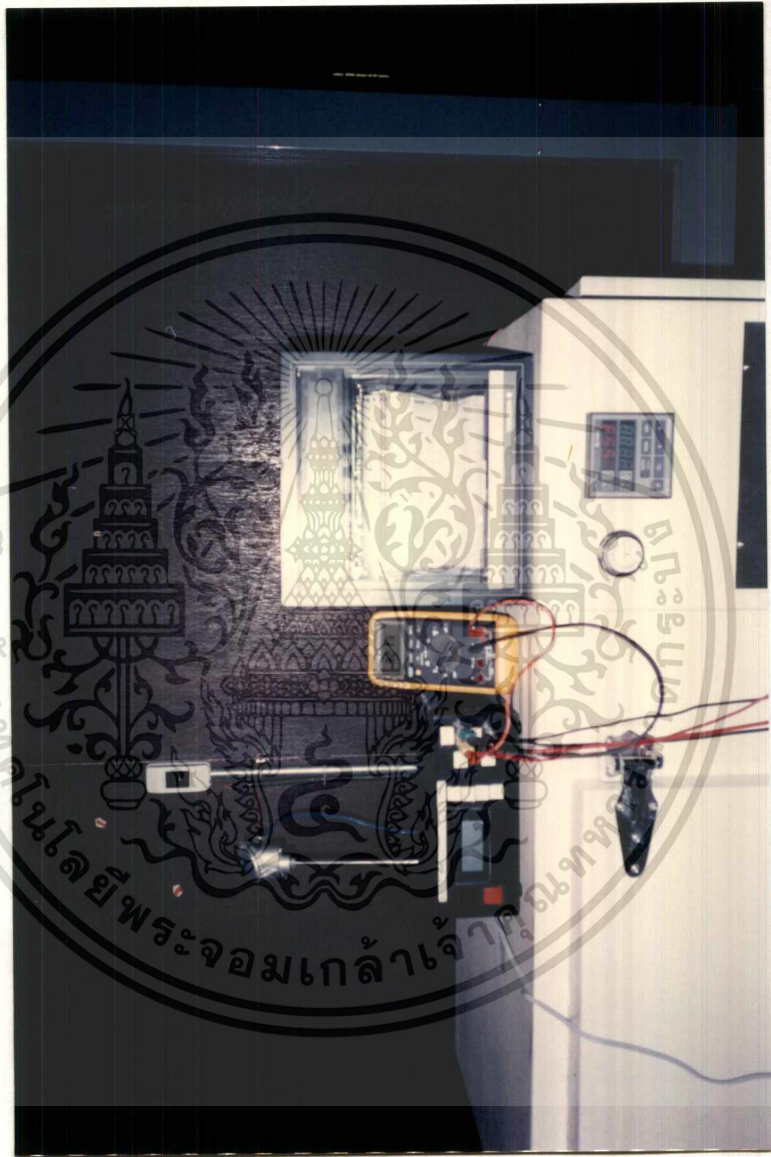
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายๆท่าน คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมไว้เป็นอย่างสูง ณ.โอกาสด้วย

โครงการนี้จำเป็นต้องมีการใช้ห้องทดลอง(Process Control Lab) ซึ่งท่านอาจารย์ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงการอำนวยความสะดวกทางด้านสถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆและต้องขอขอบคุณเพื่อนๆทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจหากมีข้อบกพร่องและความผิดพลาดของโครงการนี้ คณะผู้จัดทำขออภัยและขออภัยไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2540



## แผ่นแทรก

### คู่มือการใช้เครื่อง PID-FUZZY CONTROLLER

1. เสียบ I/P เป็น Voltage เพื่อรับค่า PV , O/P เป็น Current เพื่อส่งค่า MV
2. เปิด POWER
3. ถ้าต้องการเปลี่ยน Set point ให้กดปุ่ม FUNC รอจน → ขึ้นมาที่บรรทัดบนสุด
4. กด ↑, ↓ เพื่อเพิ่มหรือลดค่า Set point
5. กด ENT เพื่อป้อนค่า Set point ใหม่ให้กับเครื่อง



Gene F. Franklin, J. David Power, Abbas Emami-Nacini.

Feedback Control of Dynamic System 3<sup>rd</sup> Edition. Addison Wisley 1994

Zhen Yu Zhao, Masayoshi Tomizuku, Satoru.

IEEE Transaction on systems Man. And Cybernatic Vol.23 No.5

SEPTEMBER/OCTOBER 1993

Abraham Kandel, Gideon Langholz.

Fuzzy Control systems. crc Press, Inc:1994

Thomas. E. marlin.

Process Control ( Designing Process and Control Systems). Mc Graw Hill

Robert H. Bishop.

Modern Control System Analysis and Design Using MATLAB.

Addison-Wesley Publishing Company

D.M. Etter.

Engineering Problem Solving with MATLAB. Prentice-Hall international,Inc.

MCS BASIC-52 User 's- Manual. Intel