

เครื่องควบคุมแบบดิจิทัล  
DIGITAL CONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 55049  
วัน,เดือน,ปี..... 7 12 ๓ 2548

ได้.....  
b.....  
.....

# DIGITAL CONTROLLER



**THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2003**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องควบคุมแบบดิจิทัล

DIGITAL CONTROLLER

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายคมเดช ทรงสุนันต์ รหัสประจำตัว 43010045

นายนิติ ถนอมศรี รหัสประจำตัว 43010220

ปริญญา

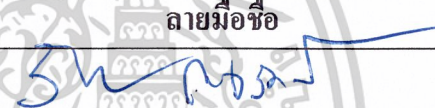
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ

วันอังคารที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2547

สถานที่สอบ

ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสริงค์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<b>Thesis Title</b>	Digital Controller	
<b>Authors</b>	Mr.Komdash	Songsumanus
	Mr.Niti	Thanomsri
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Wiriya	Kongratana
<b>Year</b>	2003	

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to study algorithm of PID control and construct Digital Controller that can be used to control an industrial process, such as temperature, level and flow rate. This controller uses IC P89C51RD2 as the CPU and C Program is developed to control the CPU. IC ADS7841 is used to convert analog signal from input signal conditioner (I/V) to digital signal and IC LTC1661 is also used to convert output digital signal from CPU to analog signal and sent the signal to output signal conditioner (V/I) to convert this signal to be the standard current signal (4 – 20 mA) to control final control element. The benefit of the controller is we can reduce the cost and improve accuracy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา คอยดูแลเอาใจใส่และห่วงใยตลอดมาจนการทำงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ทั้งทางด้านความรู้ อุปกรณ์ในการทำงาน รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้มาโดยตลอด



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของเครื่องควบคุมแบบต่างๆ.....</b>	<b>3</b>
2.1 หลักการของเครื่องควบคุมแบบต่างๆ.....	3
2.1.1 เครื่องควบคุมแบบ Proportional (P).....	3
2.1.2 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI) .....	8
2.1.3 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID).....	11
2.1.4 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD) .....	14
2.2 รีเซ็ต-วินด์อัป (Reset Windup).....	16
2.3 ตัวควบคุมแบบ Cascade.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล.....	20
3.1 หลักการของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล.....	20
3.1.1 หน้าที่ของเครื่องควบคุม.....	20
3.1.2 ขั้นตอนการทำงานของ Digital Controller.....	21
3.2 รายละเอียดของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่จัดทำขึ้น (Specification).....	22
3.2.1 ไอซี ADS 7841.....	22
3.2.2 ไอซี DAC แบบอนุกรม (TLC 1661) .....	23
3.2.3 ส่วนประมวลผล (ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2).....	24
3.2.4 ส่วนแสดงผล (7-Segment).....	26
3.2.5 Flow Chart การทำงานของโหมดต่างๆของเครื่องควบคุมโดยรวม.....	28
3.2.6 Flow Chart ของโหมดแสดงค่า PV และ SV (Mode 0).....	29
3.2.7 Flow Chart ของโหมดแสดงค่า MV และ PV (Mode 1).....	30
3.2.8 Flow Chart ของโหมดปรับค่าพารามิเตอร์ Kp (Mode 2).....	31
3.2.9 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Ki (Mode 3).....	32
3.2.10 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kd (Mode 4).....	33
3.2.11 Flow Chart ของโหมดการเลือกกรียาของเครื่องควบคุม (Mode 5).....	34
3.2.12 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ Cascade (Mode 6).....	35
3.2.13 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Scan time (Mode 7).....	36
3.2.14 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm High (Mode 8).....	37
3.2.15 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm Low (Mode 9).....	38
3.2.16 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ ON/OFF (Mode 10).....	39
3.2.17 Flow Chart การทำงานส่วน Interrupt.....	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	42
4.1 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของเหลว.....	42
4.1.1 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P .....	43
4.1.2 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PI.....	44
4.1.3 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PID .....	46
4.2 สรุปผลการทดลอง.....	47
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 บทสรุป.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	50
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 ผลของอัตราขยายของเครื่องควบคุมต่อค่าที่ทางออกของเครื่องควบคุม.....	4
ภาพที่ 2.2 แสดงวงรอบการควบคุมระดับของเหลว .....	4
ภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นผลตอบสนองของค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมทั้งสองค่าที่แตกต่างกัน.....	5
ภาพที่ 2.4 แสดงวงรอบกระบวนการควบคุมการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	7
ภาพที่ 2.5 แสดงกราฟที่เป็นคำจำกัดความของPB.....	7
ภาพที่ 2.6 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบ PI .....	9
ภาพที่ 2.7 การควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	12
ภาพที่ 2.8 แสดงผลการบันทึกอัตราการไหล.....	13
ภาพที่ 2.9 แสดงผลของการเปลี่ยนค่า Set-point.....	14
ภาพที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองของวงรอบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	16
ภาพที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองของวงรอบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	17
ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างกระบวนการที่ใช้ระบบควบคุมแบบ Cascade.....	18
ภาพที่ 3.1 Block Diagram แสดงการทำงานของเครื่องควบคุมโดยทั่วไป.....	20
ภาพที่ 3.2 Block Diagram แสดงการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล.....	21
ภาพที่ 3.3 แสดงโครงสร้างการทำงานของADS 7841.....	23
ภาพที่ 3.4 แสดงขั้วต่อของ ADS 7841 .....	23
ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งขาของ LTC 1661.....	23
ภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงขั้วต่อใช้งานของ LTC 1661.....	24
ภาพที่ 3.7 แสดงบอร์ดรุ่น CP-SPI/RD2 V2.0 .....	24
ภาพที่ 3.8 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 .....	25
ภาพที่ 3.9 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 .....	26
ภาพที่ 3.10 แสดงการจัดขาของไอซีเบอร์ MAX7219.....	27
ภาพที่ 3.11แสดงการใช้งานทั่วไปของไอซีเบอร์MAX7219 .....	27
ภาพที่ 3.12 Flow Chart แสดงโหมดการทำงานโดยรวมของเครื่องควบคุม.....	28
ภาพที่ 3.13 Flow Chart การทำงานของโหมดแสดงค่า PV และ SV (Mode 0).....	29
ภาพที่ 3.14 Flow Chart การทำงานของโหมดแสดงค่า MV และ PV (Mode 1).....	30
ภาพที่ 3.15 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kp (Mode 2).....	31

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3.16 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Ki (Mode 3).....	32
ภาพที่ 3.17 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kd (Mode 4).....	33
ภาพที่ 3.18 Flow Chart ของโหมดการเลือกกรียา (Action) ของเครื่องควบคุม (Mode 5).....	34
ภาพที่ 3.19 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ Cascade (Mode 6) .....	35
ภาพที่ 3.20 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Scan Time (Mode 7).....	36
ภาพที่ 3.21 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm High (Mode 8).....	37
ภาพที่ 3.22 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm Low (Mode 9).....	38
ภาพที่ 3.23 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ ON/OFF.....	39
ภาพที่ 3.24 Flow Chart แสดงการทำงานส่วน Interrupt .....	40
ภาพที่ 4.1 แสดงกระบวนการควบคุมระดับของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....	42
ภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_p=35$ ) ที่ขาขึ้น.....	43
ภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_p = 35$ ) ที่ขาลง.....	43
ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_p = 35$ ) .....	44
เมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน	
ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35, K_i = 10$ ) ที่ขาขึ้น.....	44
ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35, K_i = 10$ ) ที่ขาลง.....	45
ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35, K_i = 10$ ).....	45
เมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน	
ภาพที่ 4.8 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30, K_i = 14$ และ $K_d = 70$ ) ที่ขาขึ้น.....	46
ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30, K_i = 14$ และ $K_d = 70$ ) ที่ขาลง.....	46
ภาพที่ 4.10 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30, K_i = 14$ และ $K_d = 70$ ).....	47
เมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน	

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องควบคุมมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสิ่งที่ช่วยควบคุมปริมาณต่างๆที่มีผลต่อการผลิตเช่น ระดับน้ำ อุณหภูมิ หรือ ความดันให้อยู่ในค่าที่ต้องการ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่ถูกต้อง และเที่ยงตรงอย่างสม่ำเสมอ สำหรับการควบคุมกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก ถ้าเราจะซื้อเครื่องควบคุมมาใช้ ราคาของเครื่องควบุนั้นมีราคาค่อนข้างสูงทำให้ต้นทุนการผลิตนั้นสูงตามไปด้วย

ดังนั้นหากเราสามารถทำเครื่องควบคุมขึ้นใช้ได้เอง โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 จะทำให้เราสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงไปได้มาก และยังคงสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้เพื่อการศึกษาถึงการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลและทำเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลขึ้น เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก แทนการใช้เครื่องควบคุมแบบเดิมที่เป็นแบบนิวแมติกส์และแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในการทำงาน มีขนาดใหญ่ ทำการติดตั้งและใช้งานไม่สะดวกเท่าที่ควร แต่สำหรับเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลนั้น จะมีขนาดเล็ก กระทบรัศมีกว่า ติดตั้งใช้งานได้ง่ายกว่า และยังมีความเที่ยงตรงสูงกว่าอีกด้วย

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์นี้คือศึกษาการทำงานและการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2 โดยใช้ภาษาซี(C) ศึกษาวิธีการอ่านค่าจาก ADS 7841 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ศึกษาวิธีการใช้ไอซี LTC 1661 ซึ่งเป็น ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่ง ไอซีทั้งคู่มีการสื่อสารแบบอนุกรม ศึกษาวิธีการทำงานของส่วนแสดงผลแบบ 7 – Segment และศึกษาถึง Algorithm ของการควบคุมแบบ PID รวมถึงการออกแบบ สร้างเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่สามารถทำการควบคุมแบบ PID และสามารถนำไปใช้ควบคุมกระบวนการได้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากศึกษาถึงการชนิดของเครื่องควบคุมแบบต่างๆทั้ง P, PI และ PID การปรับตั้งค่า parameter ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมแต่ละแบบ จากนั้นศึกษาถึงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล การทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล ศึกษาการทำงานของไอซี ADS7841, LTC1661 และไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2 การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์โดยภาษาซี (C) และออกแบบเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่ทำการควบคุมแบบ PID ขึ้นมาใช้ควบคุมกระบวนการเองได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการของเครื่องควบคุมแบบต่างๆ

### 2.1 หลักการของเครื่องควบคุมแบบต่างๆ

#### 2.1.1 เครื่องควบคุมแบบ Proportional (P)

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นเครื่องควบคุมชนิดที่ง่ายที่สุด โดยสมการที่ใช้อธิบายการทำงาน of เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นดังนี้

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

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

เมื่อ

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

$r(t)$  = ค่าเป้าหมาย, *psig* หรือ *mA*

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

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

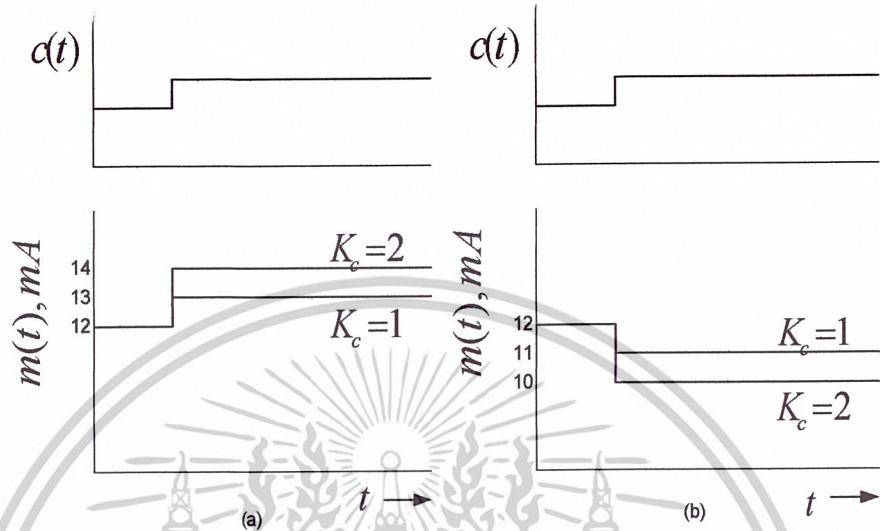
$K_c$  = อัตราการขยายของเครื่องควบคุม,  $\frac{psi}{psi}$ ,  $\frac{mA}{mA}$

โดยที่พิกัดทางเข้าและทางออกนั้นเหมือนกัน (3 - 15 *psig* หรือ 4 - 20 *mA*) และสัญญาณทางเข้าและสัญญาณทางออกตลอดจนค่าเป้าหมายเหมือนกัน ซึ่งในบางครั้งอาจจะเป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของพิกัด ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจในสมการที่ (2.1) ถูกเขียนขึ้นมาสำหรับเครื่องควบคุมที่มีกรียาทางออกแบบกลับคือ ถ้าตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเหนือค่าเป้าหมายและค่าผิดพลาดกลายเป็นค่าลบ จากสมการแสดงให้เห็นว่าทางออกของเครื่องควบคุมนั้นได้ลดลงทางที่จะแสดงให้เห็นถึงเครื่องควบคุมที่เป็นกรียาทางออกแบบตรงในทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้โดยการให้อัตราขยายของเครื่องควบคุมมีค่าเป็นลบ แต่เราต้องจำไว้ว่าอย่างหนึ่งว่าเครื่องควบคุมในอุตสาหกรรมนั้นจะไม่มีอัตราขยายที่เป็นค่าลบจะมีเฉพาะค่าบวกอย่างเดียว ดังนั้นสวิทช์เลือกแบบกลับ/แบบตรง จึงได้ถูกนำมาใช้ สำหรับอัตราการขยายแบบลบถูกใช้เมื่อมีการกระทำทางคณิตศาสตร์ของเครื่องควบคุมเพื่อที่จะวิเคราะห์เครื่องควบคุมกรียาทางออกแบบตรง สมการ(2.1) และ (2.2) แสดงให้เห็นถึงเครื่องควบคุมที่เป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นนิตานการค้า

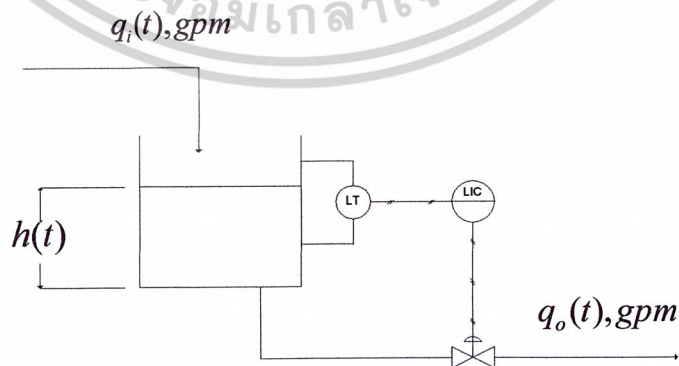
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ถูกรบกวน ความเป็นสัดส่วนนี้ถูกกำหนดโดยค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุม อัตราขยายหรือความไวของเครื่องควบคุมนี้จะบอกให้รู้ว่าทางออกจะมีขนาดมากเท่าใดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ผลของอัตราขยายของเครื่องควบคุมต่อค่าที่ทางออกของเครื่องควบคุม (a) Direct-acting controller. (b) Reverse-acting controller.

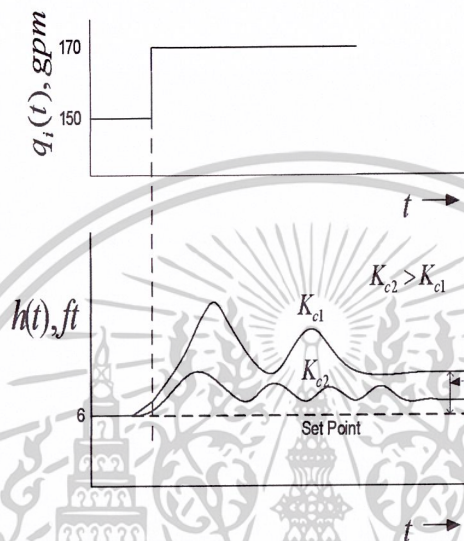
เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวมีข้อดีคือมีตัวปรับค่าอัตราขยายเพียงอย่างเดียว ไรก็ตามข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนนั้น ในการทำงานจะเกิดค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady-state error) หรือ offset เพื่อที่จะแสดงถึงค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่เป็นกราฟ พิจารณา วงรอบการควบคุมระดับของเหลวในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงวงรอบการควบคุมระดับของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้เงื่อนไขการทำงานที่  $q_i(t) = q_o(t) = 150 \text{ gpm}$  และ  $h(t) = 6 \text{ ft}$  เพื่อที่จะให้ค่าที่ทางออกของวาล์วเป็น  $150 \text{ gpm}$  จะต้องให้แรงดันลมแก่วาล์ว  $9 \text{ psig}$  แต่ถ้าอัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นผลตอบสนองของระบบร่วมกับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนแสดงดังภาพที่ 2.3 เครื่องควบคุมได้นำค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับสภาวะคงที่ แต่ค่าที่สภาวะคงที่นี้จะไม่ใช่ค่าที่จุดเป้าหมาย ความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าที่สภาวะคงที่ของตัวแปรที่ถูกควบคุมคือค่า offset



ภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นผลตอบสนองของค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมทั้งสองค่าที่แตกต่างกัน

กับค่าอัตราขยาย  $K_c$  ที่ถูกปรับเปลี่ยน จะพบว่าค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุมที่มากจะให้ค่า offset น้อยแต่จะเกิดการแกว่งมากกว่า

พิจารณาระบบควบคุมของเหลวเดียวกันนี้ในภาพที่ 2.2 ด้วยเงื่อนไขของการทำงานเหมือนเดิม และจำไว้อย่างหนึ่งว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวที่มีกรียาทางออกแบบตรงนั้นอัตราขยายเป็นลบ ( $-K_c$ ) คุณสมการต่อไปนี้

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

ตอนนี้กำหนดให้อัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น  $170 \text{ gpm}$  เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วระดับของเหลวจะต้องเพิ่มขึ้น จากนั้นเครื่องควบคุมจะส่งสัญญาณทางออกไปเปิดวาล์วเพื่อที่จะทำให้ระดับของเหลวกลับเข้าสู่สภาวะคงที่ในตำแหน่งเดิม อัตราไหลทางออกตอนนี้จะต้องเป็น  $170 \text{ gpm}$  เพื่อที่จะให้วาล์วผ่านอัตราไหลค่าใหม่ที่เพิ่มขึ้นก็ต้องเปิดให้มากกว่าเดิม วาล์วที่ใช้เป็นแบบความดันเพื่อเปิด สมมติให้ค่าความดันค่าใหม่ที่กระทำนี้เป็น  $10 \text{ psig}$  นั่นคือเครื่องควบคุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องให้ทางออกเป็น 10 *psig* แก่แล้ว มองกลับไปที่สมการ 2.3 จะเห็นว่ามียังมีอย่างเดียวกันที่นั่นที่ทางออกของเครื่องควบคุมเท่ากับ 10 *psig* ได้ก็ต่อเมื่อเทอมที่สองทางขวามือจะต้องเป็น +1 *psig* ดังนั้นในเทอมค่าผิดพลาดไม่สามารถที่จะเป็นศูนย์ที่สภาวะคงที่ได้ และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ก็คือค่า offset นั้นเอง ค่าผิดพลาดที่เป็นลบอันเนื่องมาจากค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย

มีอยู่สองจุดที่น่าสนใจในตัวอย่างนี้ อันแรกคือขนาดของเทอมความผิดพลาดขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุม โดยที่ทั้งสองเทอมรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ +1 *psig* ดังนี้

$-K_c$	$-e(\infty)$ (offset)
1	1
2	0.5
4	0.25

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอัตราขยายที่มากจะเกิด offset น้อย แต่จะต้องจำไว้ว่าอัตราขยายที่มากกว่าขอบเขตอื่นหนึ่งแล้วจะทำให้กระบวนการเข้าสู่ความไม่เสถียร

อันดับที่สองเพื่อเป็นการสรุปในตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวจะพยายามทำหน้าที่โดยให้การเปลี่ยนแปลงนั้นเข้าสู่สภาวะคงที่และ offset นั้นก็ขึ้นอยู่กับอัตราขยายของเครื่องควบคุม ผู้ผลิตส่วนมากจะไม่ใช้เทอมของอัตราขยายในการบ่งบอกความไวของเครื่องควบคุม แต่จะใช้เทอมของ **proportional band (PB)** โดยสัมพันธ์กับอัตราขยายคือ

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

ดังนั้นสมการที่ได้อธิบายสำหรับเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเขียนใหม่ได้ดังนี้

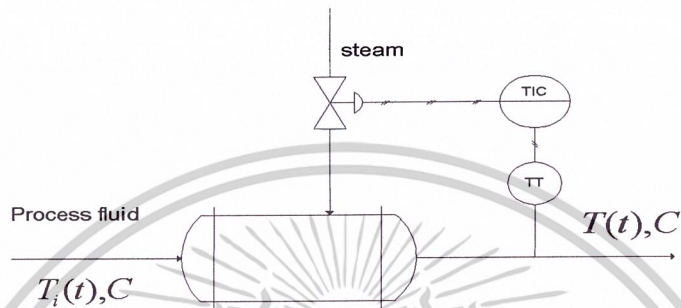
$$m(t) = \bar{m} + \frac{100}{PB} (r(t) - c(t)) \quad (2.5)$$

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

เทอม 100 ถูกนำมาใช้เพราะว่า PB โดยทั่วไปจะอ้างถึง **percent proportional band** สมการ 2.4 แสดงให้เห็นจริงว่าถ้าอัตราขยายมากก็จะเหมือนกับมี **proportional band** ต่ำหรือแคบ และถ้าอัตราขยายต่ำแล้วก็จะเหมือนกับมี **proportional band** มากหรือกว้าง นั่นก็

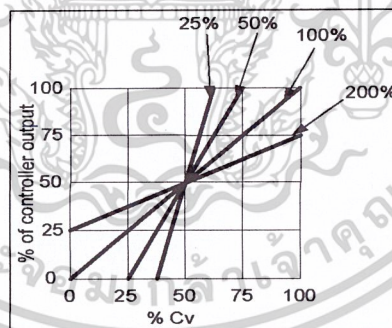
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่าก่อนที่จะเริ่มใช้งานเครื่องควบคุมอย่างน้อยที่สุดก็จะต้องรู้จักว่าเครื่องควบคุมที่ใช้มี การปรับแบบอัตราขยายหรือปรับ **proportional band** คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งของ **proportional band** ก็คือจะมองที่ค่าผิดพลาด (ที่กระจายอยู่ในทอมของเปอร์เซ็นต์พิคคของตัว แปรที่ถูกควบคุม) ที่ต้องการจะเคลื่อนค่าที่ทางออกของเครื่องควบคุมจากต่ำที่สุด ไปสู่ค่าสูงสุด ต่อไปพิจารณาวงรอบกระบวนการควบคุมการแลกเปลี่ยนความร้อนในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงวงรอบกระบวนการควบคุมการแลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์ส่งสัญญาณมีพิคคจาก 100-300 องศาเซลเซียส และค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุม อยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส



	Controller Output		
	3 psig 4 mA	9 psig 12 mA	15 psig 20 mA
PB=100%	100C	200c	300c
PB=50%	150C	200c	250c
PB=25%	175C	200c	225c
PB=200%	— 200c —		

ภาพที่ 2.5 แสดงกราฟที่เป็นคำจำกัดความของ PB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพนี้แสดงค่า PB 100% ก็แสดงว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 100% ของพิกัด ถ้า PB 50% เช่นเดียวกันก็แสดงว่าค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถที่จะแปรค่าได้ 50% ของพิกัด และถ้า PB 200% ถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมสามารถแปรค่าได้ 200% ของพิกัด แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องควบคุมสัดส่วนอย่างเดียวเครื่องนี้ไม่สามารถที่จะให้ค่าทางออกเกินกว่าพิกัดที่เป็นอยู่ได้ ค่า PB 200% จะหมายถึงว่าความไว้น้อยมากต่อความผิดพลาดหรืออัตราขยายน้อยมากนั่นเอง

เพื่อที่จะหาฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว สมการ 2.1 สามารถจะเขียนได้ดังนี้

$$m(t) - \bar{m} = K_c (e(t) - 0)$$

กำหนดตัวแปรที่เบี่ยงเบนได้ดังนี้

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

$$E(t) = e(t) - 0$$

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

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

สรุปได้ว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นชนิดที่ง่ายที่สุด ด้วยข้อดีที่มีพารามิเตอร์ตัวเดียวในการปรับแต่งอัตราขยายหรือ PB ส่วนข้อเสียก็คือ การทำงานของเครื่องควบคุมแบบนี้จะเกิดค่า offset แก่ตัวแปรที่ถูกควบคุม

### 2.1.2 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

เป็นเครื่องควบคุมที่ถูกออกแบบมาเพื่อขจัดค่า offset ให้หมดไปจากเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมก็จะกลายเป็นแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล โดยได้ถูกจำกัดความไวในสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

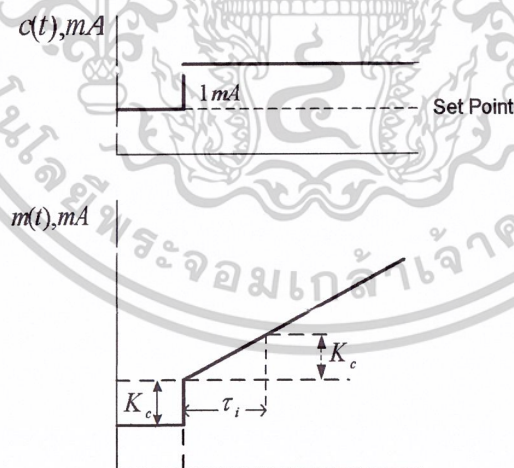
$$m(t) = \bar{m}_c + K_c[r(t) - c(t)] + \frac{K_c}{\tau_i} \int [r(t) - c(t)] dt \quad (2.7)$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_i} \int e(t) dt \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\tau_i$  = เวลาในการอินทิเกรตหรือ **reset time (minutes/repeat)**

เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมแบบ PI จะมีสองพารามิเตอร์คืออัตราขยายและเวลาในการอินทิเกรต ซึ่งจะต้องถูกปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะให้เข้าใจคุณลักษณะของเวลา reset ( $\tau_i$ ) โดยพิจารณาตัวอย่างสมมติที่แสดงในภาพที่ 2.6  $\tau_i$  คือเวลาที่จะทำให้เครื่องควบคุมกระทำกริยาแบบสัดส่วนที่ซ้ำกัน โดยมีหน่วยของเวลาเป็น นาที/จำนวนครั้ง ค่าเวลาที่เล็กของ  $\tau_i$  จะทำให้เส้นโค้งของผลตอบสนองนั้นชันมากซึ่งจะหมายความว่า เป็นผลตอบสนองที่เร็ว อีกทางหนึ่งที่จะใช้ขยายความโดยดูที่สมการ 2.8 ค่าของ  $\tau_i$  ที่เล็กจะเป็นค่าที่มากในเทอมที่อยู่หน้าอินทิเกรตและจะเป็นตัวคูณของกริยาอินทิกรัลหรือ **reset**



ภาพที่ 2.6 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบ PI (แบบกริยาทางออกตรง)  
ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดแบบเป็นขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปเราจะมาดูระบบควบคุมของเหลวอีกครั้งเพื่อที่จะถูกใช้อธิบายว่าทำไม offset จึงเกิดขึ้นเมื่ออัตราไหลทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 170 *gpm* วาล์วจะต้องเปิดกว้างโดยมีแรงดันลมเพื่อเปิดเป็น 10 *gpm* ด้วยเครื่องควบคุมแบบ PI ไม่ว่าค่าผิดพลาดจะเกิดขึ้นด้วยเวลาที่ยาวนานเท่าใด เครื่องควบคุมก็จะเก็บค่าผิดพลาดนี้รวมกันไว้ เพื่อชดเชยไว้ที่ทางออกของเครื่องควบคุมในการแก้ความผิดพลาดและความผิดพลาดนั้นก็จะมีหมดไป ทำให้ที่ทางออกของเครื่องควบคุมจะอยู่ในสภาวะคงที่

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

ในความจริงแล้วถ้าความผิดพลาดเป็นศูนย์ ไม่ได้หมายความว่าเทอมอินทิกรัลจะเป็นศูนย์แต่จะหมายถึงเครื่องควบคุมกำลังอินทิเกรตค่าความผิดพลาดที่เป็นศูนย์ โดยการบวกด้วยศูนย์เข้าไปที่ทางออกซึ่งยังคงที่อยู่สำหรับกระบวนการระดับของเหลวนี้อินทิกรัลเทอมจะมีค่าเป็น 1 *psig* เพราะฉะนั้นทางออกของเครื่องควบคุมจะเป็น 10 *psig* โดยปราศจากค่าผิดพลาดและที่เกิดขึ้นนี้เป็นการขยายความว่าทำไมกรียา reset จึงได้ขจัดค่า offset ออกไป

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

บางผู้ผลิตจะไม่ใช้เทอมของเวลา reset,  $\tau_i$  สำหรับเป็นค่าปรับแต่งแต่จะใช้ อัตราการ reset (reset rate),  $\tau_i^R$

$$\tau_i^R = \frac{1}{\tau_i}, \text{ repeats per minutes} \quad (2.9)$$

เพราะฉะนั้นก่อนที่จะทำการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้ จะต้องรู้ว่าเครื่องควบคุมใช้ค่าของ reset time หรือ reset rate สิ่งสำคัญที่จะต้องจดจำก็คือความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับ proportional band และความสัมพันธ์ระหว่าง reset time กับ reset rate เพื่อที่จะหาฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับเครื่องควบคุมแบบ PI สมการ(2.8) เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$m(t) - \bar{m} = K_c (e(t) - 0) + \frac{K_c}{\tau_i} \int (e(t) - 0) dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ข้อกำหนดเดิมของตัวแปรที่เบี่ยงเบน ทำการแปลงลาปลาซจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s}\right) \quad (2.10)$$

สรุปได้ว่าเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล จะมีสองพารามิเตอร์ที่จะต้องปรับแต่งได้แก่ อัตราขยาย หรือ **proportional band** และ **reset time** หรือ **reset rate** โดยข้อดีของเครื่องควบคุมแบบนี้ก็คือกริยาอินทิกรัลหรือ **reset** จะจัดค่า **offset** ให้หมดไป

### 2.1.3 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

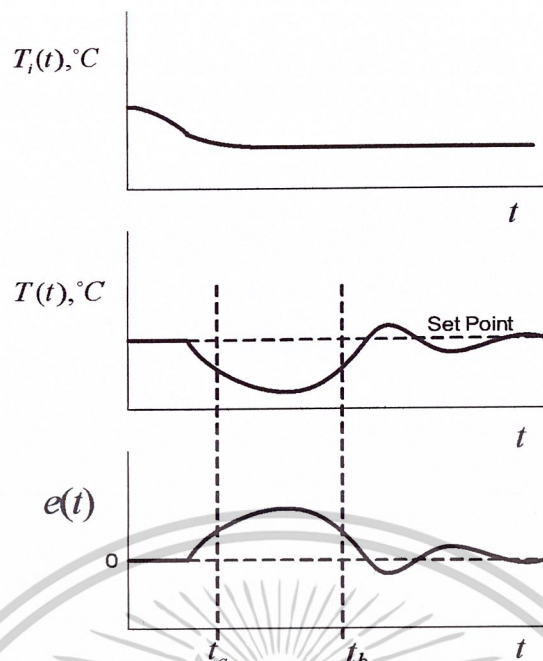
โหมดการควบคุมอันใหม่นี้ได้ถูกเพิ่มเข้าไปในโหมดควบคุมแบบ PI ก็คือ **Derivative** หรืออาจเรียกว่ากริยาของอัตราการเปลี่ยนแปลง **rate action** หรือ **pre-act** จุดประสงค์เพื่อจะเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเมื่อกระบวนการมีการทำงาน โดยมองที่อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาความผิดพลาด ซึ่งมันเป็นค่าของอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด สมการที่ใช้อธิบายเป็นดังต่อไปนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_i} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\tau_D$  = **Derivative** หรืออัตรามีหน่วยเป็นเวลา (นาท)

เพราะฉะนั้นเครื่องควบคุมแบบ PID จะมีสามพารามิเตอร์ที่ต้องปรับแต่งเพื่อให้การควบคุมนั้นเหมาะสม ส่วนค่าเวลา **Derivative** จะเป็นหน่วยของเวลาที่ทุกผู้ผลิตต่างใช้เป็นแบบเดียวกันและจากที่กล่าวมากริยา **Derivative** จะทำให้เครื่องควบคุมมีความสามารถในการคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้าได้ด้วยการมองเหตุการณ์ไปข้างหน้า โดยการคำนวณค่าอนุพันธ์ของความผิดพลาด จำนวนของค่าที่คาดการณ์จะมากหรือน้อยเท่าใดก็จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของเวลา **Derivative** ที่ได้ถูกปรับแต่ง

ต่อไปจะพิจารณากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แสดงในภาพที่ 2.4 และใช้เพื่อให้ความหมายของคำว่า การคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้า สมมติอุณหภูมิทางเข้าของของเหลวในกระบวนการลดลงไปจำนวนหนึ่งและอุณหภูมิทางออกเริ่มจะลดลงที่ได้แสดงในภาพที่ 2.7



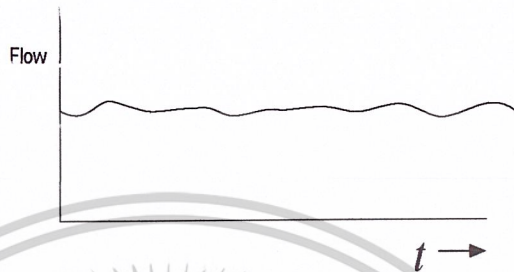
ภาพที่ 2.7 การควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ที่เวลา  $t_a$  จำนวนของค่าผิดพลาดเป็นบวกแต่อาจจะเล็กน้อย จำนวนของการแก้ไขค่าผิดพลาดของระบบควบคุมโดยการแก้ไขแบบสัดส่วนและอินทิกรัลจะยังคงน้อยอยู่ แต่อย่างไรก็ตามค่า **Derivative** ของความผิดพลาดอันนี้โดยสังเกตจากความชันของความผิดพลาดจะมีค่ามากและเป็นบวกจะเป็นผลให้การแก้ไขเฉพาะ **Derivative** นั้นมีค่ามาก เครื่องควบคุมจะรู้ว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่งหน้าออกจากเป้าหมายด้วยความเร็วและที่เวลา  $t_b$  ค่าความผิดพลาดก็ยังคงเป็นบวกและมากขึ้นกว่าเดิม จำนวนของค่าแก้ไขของแบบสัดส่วนและแบบอินทิกรัลนั้นก็มากกว่าก่อนและก็ยังคงรวมเข้าไปกับค่าแก้ไขเพื่อที่จะเปิดวาล์วให้กว้างขึ้นแต่ค่า **Derivative** ของความผิดพลาดที่เวลานี้จะเป็นลบเป็นผลให้ค่าที่แก้ไขก่อนหน้านี้ถูกลดลง นั่นคือตัวแปรที่ถูกควบคุมได้เริ่มที่จะเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่จุดนี้เองค่า **Derivative** ก็เริ่มที่หักเหแก้ไขตัวเองออกจากค่าแก้ไขทั้งหมดเมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะใช้เวลาที่ยาวนานขึ้น เพื่อที่จะทำให้ค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมกลับเข้าหาเป้าหมาย อย่างไรก็ตามการพุ่งเกินขอบเขตและการแกว่งรอบค่าเป้าหมายจะถูกลดลงไป

เครื่องควบคุมแบบ PID ถูกใช้ในกระบวนการที่มีค่าคงตัวที่ยาวนานยกตัวอย่างเช่น วงรอบการควบคุมของอุณหภูมิและความเข้มข้น ส่วนกระบวนการที่มีค่าคงตัวที่สั้น (ค่าความจุที่น้อย) จะเร็วและอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนในกระบวนการมากซึ่งกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ วงรอบการควบคุมของอัตราการไหลและการควบคุมความดันของกระแสของเหลว (ของเหลวที่พุ่งออกเป็นลำ เช่น น้ำพุ) พิจารณาผลการบันทึกของอัตราการไหลดังภาพที่ 2.8 เมื่อนำโหมด **Derivative** มาใช้

โดยจะเห็นว่าเป็นการขยายผลต่อสัญญาณรบกวนเท่านั้นเพราะว่าค่า **Derivative** จะไวต่อการเอกสารถนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนซึ่งจะมีค่ามาก กระบวนการที่มีเวลาคงตัวมาก(ค่าความจุที่มาก) โดยปกติจะเป็นแบบถูกหน่วงหรือช้าและไม่ไวต่อสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามถ้าจะใช้เครื่องควบคุมแบบ PID กับกระบวนการอุณหภูมิแล้วก็จะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไม่เป็นแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนเสียเอง



ภาพที่ 2.8 แสดงผลการบั่นที่อัตราคร่าวไหล

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบ PID ในอุดมคติจะเป็นในสมการ 2.11 ดังต่อไปนี้

$$m(t) - \bar{m} = K_c(e(t) - 0) + \frac{K_c}{\tau_i} \int (e(t) - 0) dt + K_c \tau_D \frac{d(e(t) - 0)}{dt}$$

โดยใช้ข้อกำหนดที่แล้มาของตัวแปรที่ถูกเบี่ยงเบน ทำการแปลงลาปลาซและจัดรูปจะได้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_D s \right) \quad (2.12)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้ถูกเรียกว่าเป็นอุดมคติเพราะว่าในทางปฏิบัติแล้วค่า **Derivative** เป็นไปไม่ได้ที่จะทำการคำนวณหา ดังนั้นค่า **Derivative** จะถูกประมาณโดยใช้เทอมของ นำหน้า/ล่าหลัง ผลที่ได้จะเป็นฟังก์ชันที่ใกล้เคียงและแม่นยำกว่า

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \left( \frac{\tau_D s + 1}{\alpha \tau_D s + 1} \right) \quad (2.13)$$

ค่าของ  $\alpha$  อยู่ในพิสัยระหว่าง 0.05 – 0.1 สรุปแล้วเครื่องควบคุมแบบ PID จะมีสามพารามิเตอร์ที่จะต้องถูกปรับแต่งได้แก่อัตราขยาย หรือ **proportion band** , **reset time** หรือ **reset rate** และ **rate time** โดยที่ **rate time** นี้ หรือ **Derivative** นี้มีค่าเวลาเป็นหน่วยนาที่ เครื่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ PID จะถูกใช้กับกระบวนการที่มีค่าเวลาคงตัวที่ยาวนานและโดยไม่มีสัญญาณรบกวน ข้อดีของ Derivative ก็คือจะมีความสามารถในการคาดการณ์ข้างหน้าขณะที่กระบวนการหรือตัวแปรที่ถูกควบคุมกำลังมุ่งหน้าไป

#### 2.1.4 เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

เครื่องควบคุมแบบนี้จะถูกใช้ในกระบวนการที่ใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวแต่ต้องการค่าของการคาดการณ์ล่วงหน้าอีกเล็กน้อย แสดงสมการได้ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.14)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนในอุดมคติคือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c (1 + \tau_D s) \quad (2.15)$$

ข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบ PD ไม่สามารถที่จะแก้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ได้ เฉพาะกรียาอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถจัดค่า offset ให้หมดไปได้ อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบ PD สามารถที่จะมีอัตราขยายที่สูงขึ้นกว่าแบบสัดส่วนอย่างเดียวจึงมีผลให้ offset มีค่าน้อยลงไปในวงรอบการควบคุมแบบง่าย

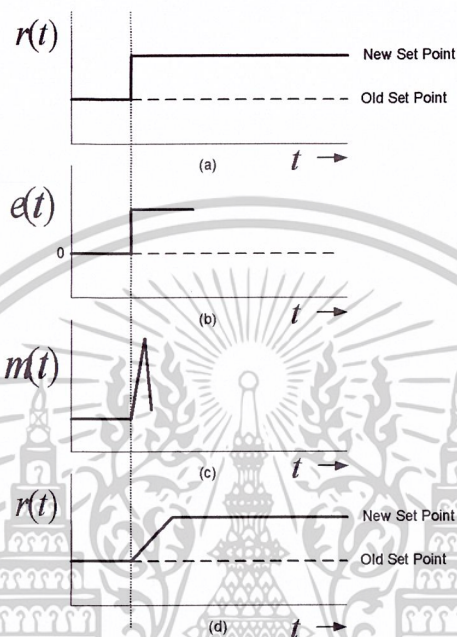
จากสมการ 2.11 แสดงให้เห็นว่าทุกเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายแล้ว จะมีผลกระทบต่อกรียาอินทรีย์และเดอริเวทีฟเพราะว่า  $\tau_i, \tau_D$  ถูกคูณและหารด้วยค่าอัตราขยายหมายความว่า ถ้าต้องการจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะอัตราขยายอย่างเดียวโดยไม่ต้องทำให้มีผลกับอินทรีย์และเดอริเวทีฟแล้ว จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งอินทรีย์และเดอริเวทีฟทุกค่าของอัตราขยายที่ถูกเปลี่ยนไปซึ่งเครื่องควบคุมแบบอนาลอกจะเป็นแบบนี้ทั้งหมด บางครั้งเครื่องควบคุมดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า **interacting controller** เครื่องควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์โดยทั่วไปจะเป็นแบบนี้ด้วย อย่างไรก็ตามจะมีเครื่องควบคุมบางแบบที่แก้ไขปัญหานี้โดยการแทน  $K_c / \tau_i$  ด้วยเทอม  $K_i$  และ  $K_c \tau_D$  โดย  $K_D$  และพารามิเตอร์ทั้งสามคือ  $K_c, K_i, K_D$

สุดท้ายเป็นความสัมพันธ์ของกรียาเดอริเวทีฟในทางหนึ่งที่จะเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงที่แสดงในภาพที่ 2.9a ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นขั้นในค่าผิดพลาดดังแสดงในภาพที่ 2.9b ดังนั้นเครื่องควบคุมจะต้องให้ค่าเดอริเวทีฟต่อค่าความผิดพลาดนี้และกรียาเดอริเวทีฟนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงในทันทีที่ทางออกของเครื่องควบคุมที่แสดงในภาพที่ 2.9c การเปลี่ยนแปลงที่ทางออกนี้ไม่เป็นที่ต้องการและอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระบวนการ เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จะใช้เพียงค่าลบของอนุพันธ์ในตัวแปรที่ถูกควบคุมเป็นค่าเดอริเวทีฟต่อค่าความผิดพลาดดังกล่าว

$$-\frac{dc(t)}{dt}$$



ภาพที่ 2.9 แสดงผลของการเปลี่ยนค่า Set-point

ค่าอนุพันธ์ทั้งสองจะเท่ากันเมื่อค่าเป้าหมายยังคงที่ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

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

ขณะนี้ค่าเป้าหมายได้เปลี่ยนเป็นค่าใหม่แล้ว ค่าเดอริเวทีฟไม่ได้สร้างกริยาทันทีทันใด ออกมาในขณะที่เดียวกันพฤติกรรมต่างๆก็ยังคงเหมือนเดิม การเลือกใช้เครื่องควบคุมแบบอนุตลอก หรือไมโคร โพรเซสเซอร์จะต้องคำนึงถึงกริยาเดอริเวทีฟที่จะเป็นผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมด้วย

สำหรับวิธีการหลีกเลี่ยงจากปัญหาของ **Derivative** นี้ สามารถทำได้โดยการใช้เครื่อง ควบคุมแบบดิจิตอล โดยค่า **Set- point** จะเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของ **Ramp shape** แม้ว่า ผู้ปฏิบัติงานอาจจะเปลี่ยนค่า **Set- point** ในรูปแบบ **Step** ก็ตาม ดังที่แสดงในภาพที่ 2.15d จะเห็นว่า บุคลิกภาพของการปฏิบัติงานก็ยังคงจะเปลี่ยนแปลงในแบบ **Ramp shape** อยู่นั่นเอง

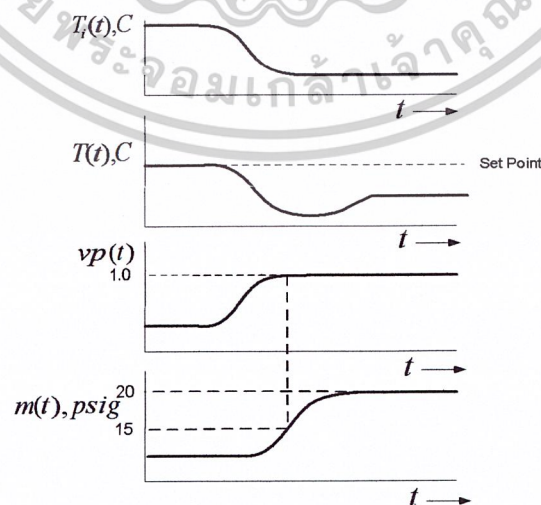
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 รีเซ็ต-วินด์อัป (Reset Windup)

ปัญหา **Reset Windup** เป็นปัญหาที่สำคัญและเกิดขึ้นจริงในระบบ โดยเกิดได้ทุกเวลาที่เครื่องควบคุมที่ใช้โหมดควบคุมแบบอินทิกรัลร่วมอยู่ด้วย วงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แสดงในภาพที่ 2.4 ถูกใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัญหานี้

สมมติว่าอุณหภูมิของของเหลวที่ทางเข้าของกระบวนการลดลงไปจำนวนหนึ่ง สิ่งรบกวนอันนี้จะไปกระทบจนถึงอุณหภูมิที่ทางออกของกระบวนการด้วย เครื่องควบคุม PI และ PID จะทำการเปิดวาล์วไอน้ำให้กว้างขึ้น โดยเพิ่มสัญญาณความดันลมให้กับวาล์วที่เป็นแบบใช้ความดันเพื่อเปิด จนกระทั่งอุณหภูมิทางออกเพิ่มขึ้นเท่ากับค่าเป้าหมายที่ต้องการ แต่ถ้าสมมติว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมยังไม่เพิ่มขึ้นเท่าใด เครื่องควบคุมก็จะต้องอินทิเกรตค่าผิดพลาดไปจนถึงที่ทางออกเป็น  $15 \text{ psig}$  ที่จุดนี้วาล์วไอน้ำจะเปิดกว้างสุดเพราะฉะนั้นวงรอบควบคุมไม่สามารถที่จะทำอะไรได้อีกแล้ว กระบวนการอยู่นอกเหนือจากการควบคุม ดังแสดงเป็นกราฟในภาพที่ 2.10

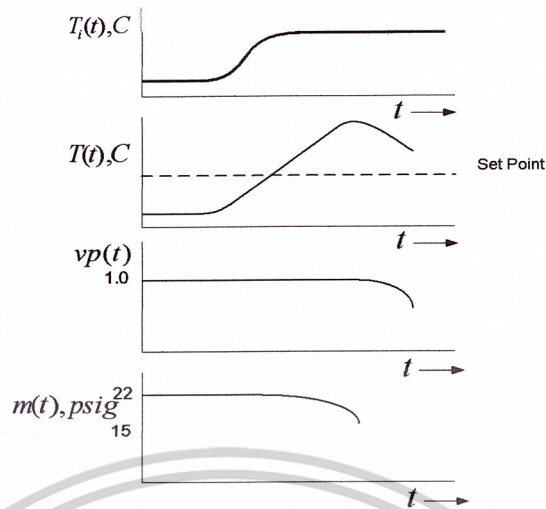
จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อวาล์วถูกเปิดสุด ตัวแปรที่ถูกควบคุมหรืออุณหภูมิทางออกก็ยังคงไม่เข้าหาค่าเป้าหมายและยังคงมีค่าผิดพลาดอยู่ตลอด เครื่องควบคุมก็พยายามที่จะแก้ไขโดยการอินทิเกรตค่าผิดพลาดที่ทางออกมากขึ้น แต่ว่าวาล์วไม่สามารถที่จะเปิดกว้างกว่านี้ได้แล้วและที่ทางออกของเครื่องควบคุมจะอินทิเกรตมากขึ้นจนไปถึงที่ความดันแหล่งจ่าย ซึ่งโดยปกติจะมีค่าประมาณ  $20 \text{ psig}$  ที่จุดนี้เองเครื่องควบคุมไม่สามารถที่จะเพิ่มค่าที่ทางออกได้มากกว่านี้ ทางออกที่จุดอิมิตตัวนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ด้วย จุดอิมิตตัวจะเป็นผลของกรียาอินทิกรัลของเครื่องควบคุมที่ค่าผิดพลาดได้เกิดขึ้นเป็นเวลานานและสภาวะอิมิตตัวนี้จะถูกเรียกว่า **Reset Windup** และในขณะนี้สมมติว่าอุณหภูมิทางเข้าได้กลับมาตามเดิม อุณหภูมิทางออกของกระบวนการก็เริ่มที่จะเพิ่มขึ้นแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองของวงรอบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองของวงรอบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพนี้แสดงอุณหภูมิทางออกเพิ่มขึ้นเข้าสู่ค่าเป้าหมายแล้วผ่านไปเลย แต่ว่าลวก็ยังคงเปิดกว้างสุดอยู่ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว น่าจะปิดไปแล้ว เหตุผลที่ลวไม่ปิดเพราะว่าเครื่องควบคุมจะต้องอินทิเกรตค่าที่ลวอยู่เดิมออกเสียก่อนจาก 20 psig ไปเป็น 15 psig จากนั้นลวจึงเริ่มปิด ในขณะที่เองทำให้อุณหภูมิทางออกเกิดการพุ่งเลขขอบเขตของค่าเป้าหมายไปจำนวนหนึ่ง การแก้ไขในกรณี **Reset Windup** โดยการเปลี่ยนโหมดการควบคุมไปเป็นแบบ **manual** เครื่องควบคุมก็จะหยุดการอินทิเกรต จากนั้นเมื่ออุณหภูมิลบเข้าที่แล้วก็เปลี่ยน โหมดการควบคุมกลับไปเป็นแบบ **auto** เพื่อเริ่มที่จะทำการควบคุมต่อไป ข้อเสียของการกระทำแบบนี้ก็คือไม่มีการเตือนว่ากรณีแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใด อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมส่วนมากจะมีอุปกรณ์ป้องกันในกรณีเกิด **Reset Windup** ไว้ด้วยเป็นการป้องกันอัตโนมัติ ก็จะหยุดการอินทิเกรตของเครื่องควบคุมถ้าค่าที่ทางออกเข้าสู่ 15 psig (20 mA) หรือ 3 psig (4 mA) **Reset Windup** มักจะเกิดกับกระบวนการแบบแบทช์ (batch process) หรือในการควบคุมแบบ **cascade control** และเมื่ออุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายถูกควบคุมจากเครื่องควบคุมที่มากกว่าหนึ่ง

### 2.3 ตัวควบคุมแบบ Cascade

ระบบควบคุมแบบ Cascade ประกอบไปด้วยตัวควบคุมหลัก (Master Controller) และตัวควบคุมรอง (Slave Controller) ตัวควบคุมหลักจะทำหน้าที่รักษาค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมให้เป็นไปตามต้องการ ส่วนตัวควบคุมรองจะทำหน้าที่ควบคุมตัวแปรอื่นที่สามารถทำให้ตัวแปรที่ถูกควบคุมเปลี่ยนแปลงค่าได้ ดังนั้นสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมหลักจะเป็นค่าที่กำหนดไว้ (Set Point) ของตัวควบคุมรอง และนั่นก็คือไปควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมในทางอ้อมด้วย

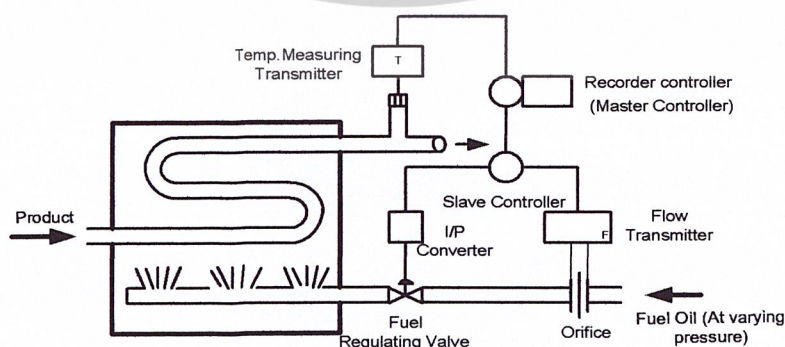
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของระบบควบคุมแบบ Cascade ก็เหมือนกับตัวควบคุมแบบ Loop เดียว ทั่วไป คือทำให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานไหลเข้ากับพลังงานไหลออก และทำให้ตัวแปรที่ ถูกควบคุมมีค่าคงที่ตามต้องการ อย่างไรก็ตาม Loop ที่สองของระบบควบคุมแบบ Cascade จะทำให้ Lag ในกระบวนการลดลง ดังนั้นการไหลเข้าที่มีเสถียรภาพดี จะทำให้การทำงานทั้งหมดมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

ตัวควบคุมรองนี้อาจถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ที่มีความปรารถนาละเอียดมาก และถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมหลัก (เช่นเดียวกันกับระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมซึ่งเป็นตัว กำหนดการทำงานของวาล์วควบคุมเพียงตัวเดียว) และตัวแปรที่สองนี้จะไม่ได้ถูกควบคุม เช่นเดียวกันกับตัวแปรตัวแรก (ตัวแปรที่ถูกควบคุม) แต่ตัวแปรตัวที่สองนี้จะเหมือนตัวกลาง ของการควบคุม ตัวอย่างเช่นถ้าตัวควบคุมรองคือการควบคุมอัตราการไหล นั่นก็คือตัวควบคุม หลักจะไม่ได้เป็นตัวบังคับหรือกำหนดตำแหน่งของวาล์วแต่ละตัวแต่จะไปควบคุมการไหลแทน

ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างกระบวนการที่มีการควบคุมแบบ Cascade โดยกระบวนการจะ ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำให้ร้อน โดยที่ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งเข้าไปในหลอดที่ผ่านเตาทำความร้อนซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทำความร้อน และสิ่งที่ต้องการควบคุมก็คืออุณหภูมิของ ผลิตภัณฑ์ซึ่งจะต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด การควบคุมนี้จะทำได้ค่อนข้างยากเพราะความดันของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนของเตาเพิ่มมากขึ้น นั่นก็คืออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงเกินกว่าที่ต้องการได้ ในกรณีที่ถ้ากระบวนการนี้มีตัวควบคุมเพียงตัวเดียวนั้น ตัวควบคุมก็จะพยายามทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามต้องการ โดยควบคุมให้การไหลเข้าของเชื้อเพลิงลดลง และถ้าในเวลาเดียวกันนี้ความดันของน้ำมันลดลงด้วย ผลที่เกิดขึ้นก็คืออุณหภูมิของ ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปเกินช่วงที่ยอมรับได้ นั่นก็คือกระบวนการแบบนี้จะต้องใช้ระบบควบคุมแบบ Cascade โดยที่ตัวควบคุมการไหลจะทำหน้าที่ป้องกันกระบวนการจากการเปลี่ยนแปลงของผลข้างเคียง (Side Effect Variation) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันเชื้อเพลิง และทำให้ตัวควบคุมหลักทำการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างกระบวนการที่ใช้ระบบควบคุมแบบ Cascade

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดการไหลของเชื้อเพลิงนั้นทำได้โดยการตรวจวัดความดันตกคร่อมแผ่น Orifice และใช้เครื่องส่งสัญญาณแตกต่างกันด้วย สัญญาณ 4 – 20 mAdc ซึ่งเป็นเอาต์พุทของเครื่องส่งสัญญาณแตกต่างกันจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมรอง ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการไหลของเชื้อเพลิงสำหรับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์นั้นจะถูกวัดโดยเครื่องส่งสัญญาณอุณหภูมิ สัญญาณ 4 – 20 mA ของเครื่องส่งสัญญาณอุณหภูมิเป็นสัดส่วนกับค่าอุณหภูมิจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมหลัก และสัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุมหลักซึ่งมีค่า 10 – 50 mAdc (หรือ 4 – 20 mAdc) จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมรอง โดยที่ Cascade Switch ของตัวควบคุมหลักจะตั้งไว้ที่ตำแหน่ง Cascade สัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุมหลักซึ่งส่งมายังตัวควบคุมรองนี้จะเป็ค่าที่กำหนดไว้ในตัวควบคุมรอง ดังนั้นฟังก์ชันการทำงานของระบบนี้ก็จะเป็แบบ Cascade

การวิเคราะห์ระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จะสามารถแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมแบบ Cascade นั้นจะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) มีค่ามากขึ้น และทำให้ค่าของ Time Constant ของระบบมีค่าลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นผลดีต่อระบบการควบคุมกระบวนการ ยิ่งไปกว่านั้นระบบควบคุมแบบ Cascade ยังทำให้

- 1.ลดผลของ Disturbance ลงได้
- 2.การปรับค่าต่างๆในกรณีที่มี Disturbance ทำได้แน่นอนกว่า
- 3.สามารถกำหนดขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างในตัวควบคุมรองได้

## บทที่ 3

# หลักการและการออกแบบเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล

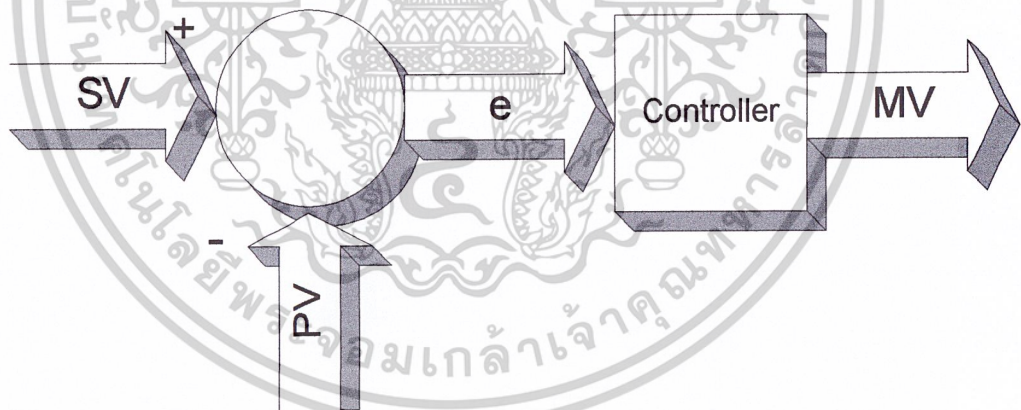
### 3.1 หลักการของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล

#### 3.1.1 หน้าที่ของเครื่องควบคุม

เครื่องควบคุมมีหน้าที่ในการตัดสินใจว่าจะดำเนินการอย่างไรกับกระบวนการควบคุมนั้นๆ เพื่อให้ค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุม (Controlled Variable) มีค่าเข้าใกล้เป้าหมาย (Set Point) มากที่สุดโดย

- เปรียบเทียบค่าของ **Controlled Variable** ที่ได้จากทางออกของกระบวนการกับค่า **Set Point**
- ส่งค่า **Manipulate Variable** ออกไปยังอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (Final Control Element) เพื่อควบคุมให้ค่าของ **Controlled Variable** มีค่าใกล้กับค่า **Set Point** มากที่สุด

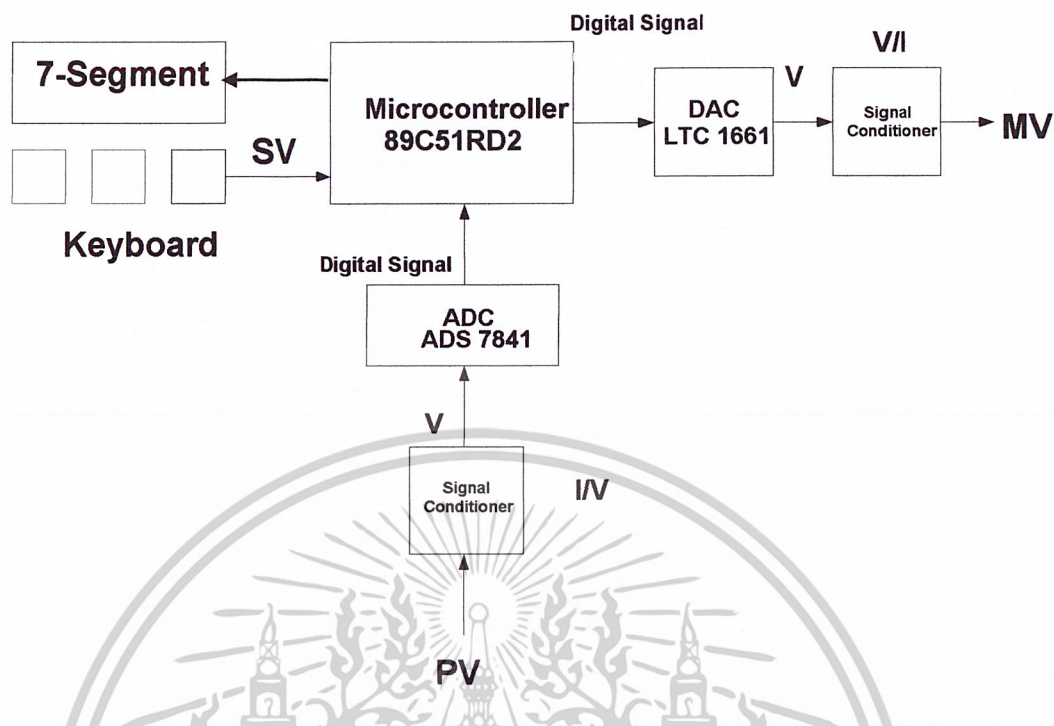
ซึ่งสามารถสรุปเป็น Block Diagram ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 Block Diagram แสดงการทำงานของเครื่องควบคุมโดยทั่วไป

จาก Block Diagram ข้างต้น เป็นการแสดงถึงขั้นตอนการทำงานโดยรวมของเครื่องควบคุมทั่วไป เมื่อนำมาขยายเป็นการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลสามารถสรุปเป็น Block Diagram ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 Block Diagram แสดงการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล

### 3.1.2 ขั้นตอนการทำงานของ Digital Controller

- เมื่อได้รับสัญญาณวัด(PV)จากเครื่องมือวัดที่เป็นสัญญาณมาตรฐานซึ่งเป็นกระแส 4 - 20 mA แล้ว สัญญาณวัดนี้จะผ่านวงจร I/V Converter เพื่อแปลงกระแสเป็นแรงดัน จากนั้นส่วนรับสัญญาณจะเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยการทำงานของไอซี ADS 7841
- สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผล(Microcontroller 89C51RD2) หน่วยประมวลผลจะทำประมวลผลตามโปรแกรมที่ทำการโปรแกรมไว้ โดยทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณที่ได้กับค่า Set Point ที่ตั้งไว้จาก Keyboard ผลที่ได้จากการประมวลจะถูกส่งออกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ทางออกของหน่วยประมวลผล
- สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะถูกส่งผ่านส่วนแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (ไอซี LTC 1661) โดยอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า
- แรงดันไฟฟ้านี้จะผ่านวงจร V/I Converter แปลงแรงดันเป็นกระแส 4 – 20 mA เพื่อเป็นสัญญาณที่ใช้รักษาค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุม(Controlled Variable)ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่า Set Point แล้วส่งออกไปยังอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายเพื่อทำการควบคุมกระบวนการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

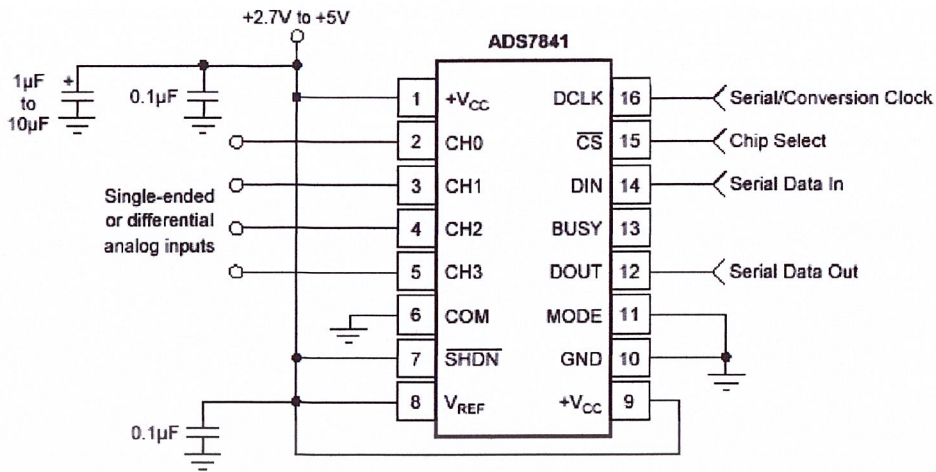
### 3.2 รายละเอียดของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่จัดทำขึ้น (Specification)

รายละเอียดของเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่จัดทำขึ้นมีดังนี้

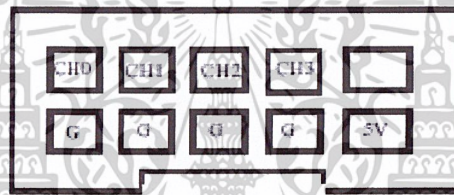
- A/D Converter : ไอซี ADS 7841
- D/A Converter : ไอซี LTC 1661
- ส่วนประมวลผล : ไอซี P89C51RD2
- ส่วนแสดงผล : แบบ 7 – Segment โดยใช้การส่งงานผ่านไอซี MAX 7219
- 2 Input Channel
- 2 Output Channel
- โหมดการทำงาน 11 โหมด เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้งาน ได้แก่
  - โหมดแสดงค่า PV, SV และปรับค่า SV (Mode 0)
  - โหมดแสดงค่า PV, MV และปรับค่า MV (Mode 1)
  - โหมดการตั้งค่า Kp (Mode 2)
  - โหมดการตั้งค่า Ki (Mode 3)
  - โหมดการตั้งค่า Kd (Mode 4)
  - โหมดการเลือกกริยา(Action)(Mode 5)
  - โหมดการควบคุมแบบ Cascade (Mode 6)
  - โหมดการตั้งค่า Scan time (Mode 7)
  - โหมดการตั้งค่า Alarm High (Mode 8)
  - โหมดการตั้งค่า Alarm Low (Mode 9)
- และโหมดการควบคุมแบบ ON/OFF (Mode 10)

#### 3.2.1 ไอซี ADC แบบอนุกรม ADS 7841

ADS 7841 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แบบอนุกรม 12 Bit 4 Channel โครงสร้างการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดย ADS 7841 ต้องการแรงดันอ้างอิงและสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สามารถทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวในช่วง 2.7V ถึง 5.25 V โดยแรงดันอ้างอิงจากภายนอกจะอยู่ในช่วง 100mV ถึง +Vcc โดยค่าของแรงดันอ้างอิงจะเป็นตัวกำหนดช่วงของแรงดันอินพุตของ ADS 7841 โดยตรง ค่ากระแสเฉลี่ยของแรงดันอ้างอิงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณของ ADS 7841



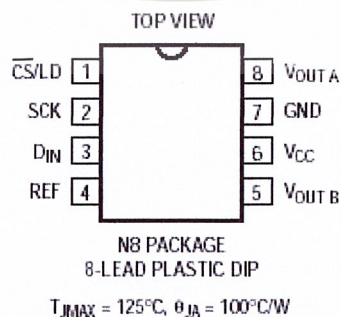
ภาพที่ 3.3 แสดงโครงสร้างการทำงานของ ADS 7841



ภาพที่ 3.4 แสดงขั้วต่อของ ADS 7841

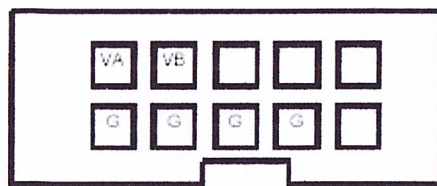
### 3.2.2 ไอซี DAC แบบอนุกรม LTC 1661

ไอซี DAC เบอร์ LTC 1661 เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก แบบอนุกรม 10 Bit Channel จัดเป็นไอซีจำพวก Chips Support สามารถใช้สร้างสัญญาณ Analog ซึ่งมีความละเอียดสูงถึง 10 บิต (1024 ระดับ) ได้พร้อมกัน 2 ช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งขาของ LTC 1661

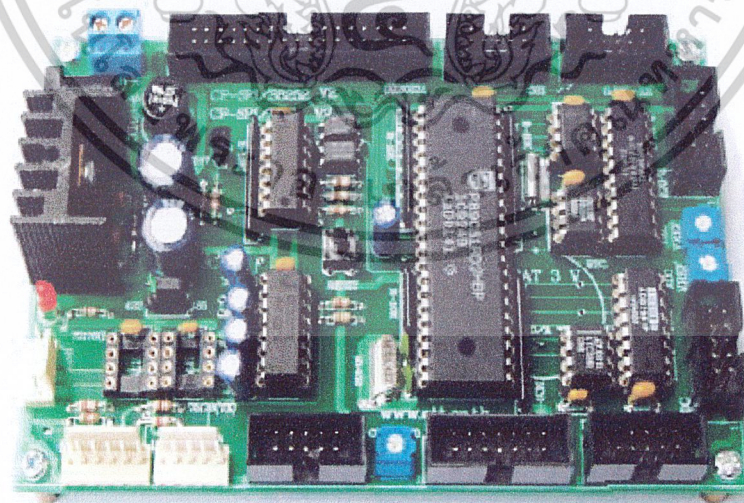
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงขั้วต่อใช้งานของ LTC 1661

### 3.2.3 ส่วนประมวลผล (ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2)

ส่วนประมวลผลที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้บอร์ดสำเร็จของบริษัท ETT.CO.LTD รุ่น CP-SPI/RD2 V2.0 ที่มี CPU P89C51RD2 เป็น CPU ประจำบอร์ด บอร์ดรุ่น CP-SPI/RD2 V2.0 นี้ มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมแบบ SPI ได้ โดยโปรแกรมแบบ SPI ที่ใช้คือ P89C51RD2 จากคุณสมบัตินี้ทำให้สามารถดาวน์โหลดข้อมูลลงหน่วยความจำของ CPU (P89C51RD2) ได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นๆอีก ทำให้การพัฒนาโปรแกรมมีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย อีกทั้งบอร์ดรุ่นนี้ยังมีขนาดกะทัดรัดและมีตัวต่อพ่วงอื่นอีกหลายส่วนเช่น 14 PIN LCD Port, A/D 12 Bit 4 Input Channel 2 Output Channel(ADS 7841) , D/A 10 Bit 2 Input Channel 2 Output Channel (LTC 1661) ฯลฯ จึงเหมาะที่จะนำมาสร้างเครื่องมือวัดได้เป็นอย่างดี



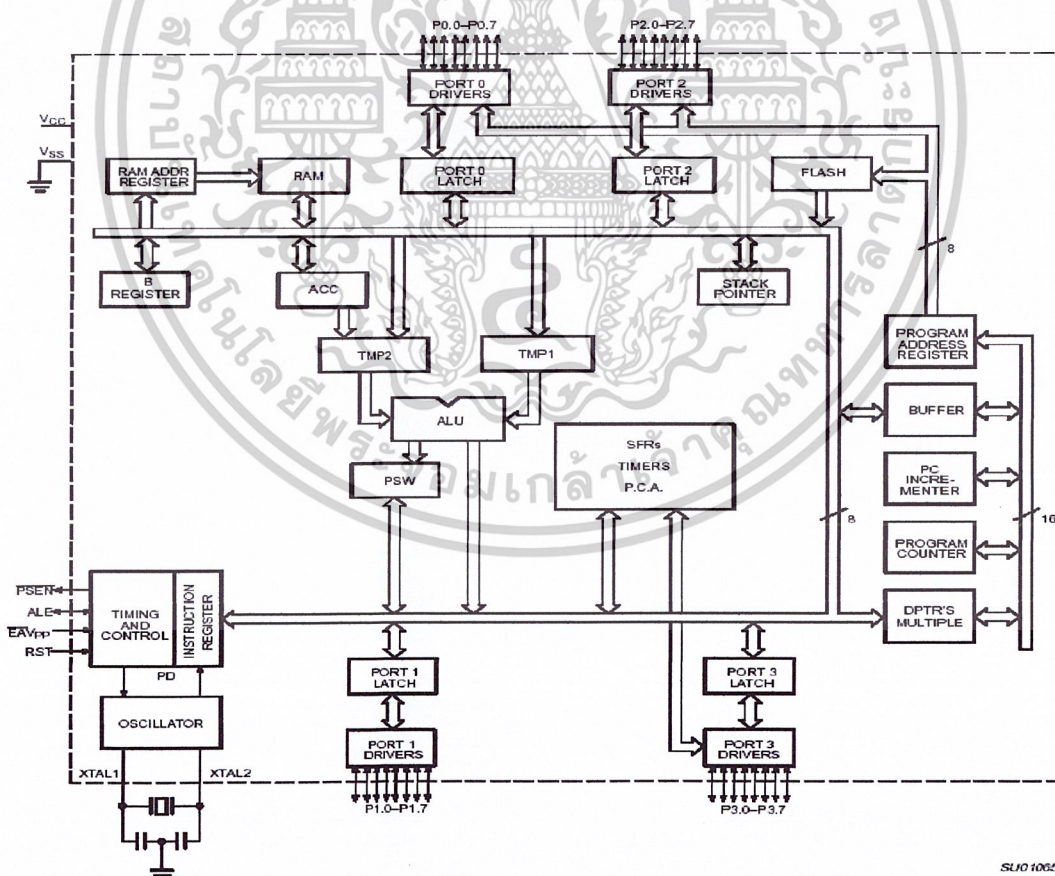
ภาพที่ 3.7 แสดงบอร์ดรุ่น CP-SPI/RD2 V2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิพซีพียู P89C51RD2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งการเลือกใช้ชิพซีพียูของ Philips เบอร์ P89C51RD2 เป็นชิพซีพียูของแผงควบคุมเนื่องจาก P89C51RD2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีลักษณะเหมาะสมสำหรับนำมาสร้างเครื่องมือวัดคือ

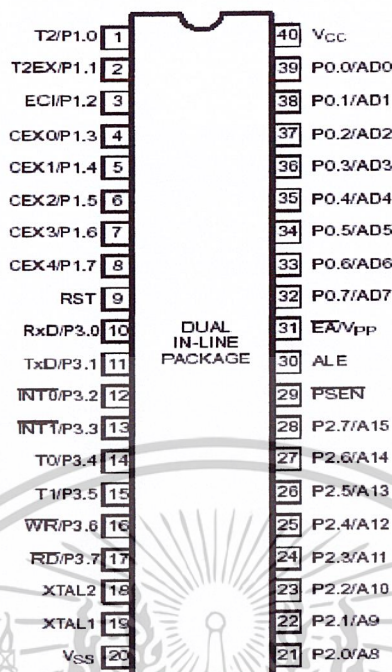
- มีหน่วยความจำแบบ Flash (Flash Memory) สำหรับบันทึกหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 32 กิโลไบต์ถึง 64 กิโลไบต์ โดยสามารถทำการดาวน์โหลดโปรแกรมเข้าตัวชิพซีพียูได้โดยตรงผ่าน ISP Serial Interface ทำให้ง่ายและสะดวกรวดเร็วต่อการพัฒนาโปรแกรม
- มี Port การใช้งานขนาด 8 บิต ให้เลือกใช้งานได้ 4 Port
- มีระบบประหยัดพลังงาน
- มีความเร็วในการประมวลผลสูงสุดที่ 33 MHz
- มีเสถียรภาพในการทำงาน

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89C51RD2 แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

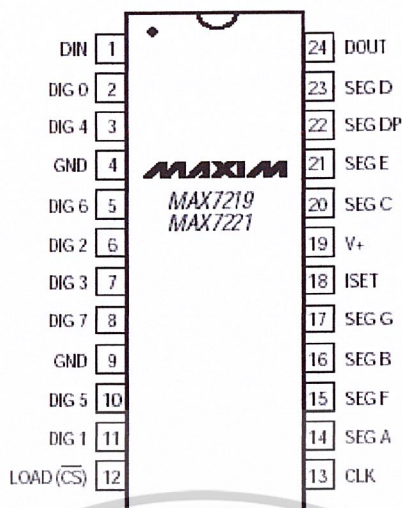
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



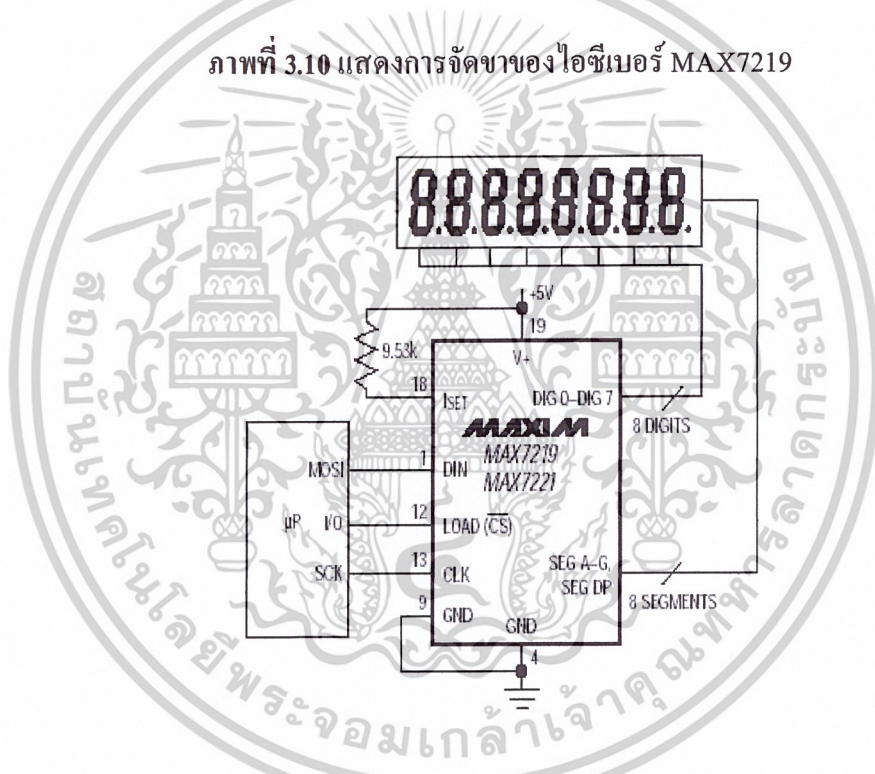
ภาพที่ 3.9 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

### 3.2.4 ส่วนแสดงผล (7-Segment)

ส่วนแสดงผลแบบ 7-Segment นี้ จะใช้การสั่งงานผ่านไอซีของบริษัท Maxim เบอร์ MAX7219 ซึ่งเป็นไอซีที่ควบคุมการทำงานของ LED ใน Segment ต่างๆที่ประกอบอยู่ใน 7-Segment โดย MAX7219เป็นไอซีแบบอนุกรมที่รับคำสั่งการทำงานโดยการติดต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปแสดงผลที่ส่วนของ 7 – Segment โดย MAX7219 นี้สามารถใช้ควบคุมการแสดงผลที่ 7 – Segment ได้มากถึง 8 ตัว และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแสดงผลแบบ Bar Graph ได้อีกด้วย ภายในไอซี MAX7219 ประกอบไปด้วย BCD code-B Decoder, multiplex scan, segment and digit drivers และ 8x8 static RAM เป็นหน่วยความจำสำหรับ 7 – Segment แต่ละตัว โดยต้องการตัวต้านทานภายนอกเพียงตัวเดียวเท่านั้นสำหรับเซกเตอร์แต่ละกับแต่ละ Segment ของ 7 – Segment นอกจากนั้นตัวไอซียังมีระบบประหยัดพลังงานรวมอยู่อีกด้วย



ภาพที่ 3.10 แสดงการจัดขาของไอซีเบอร์ MAX7219

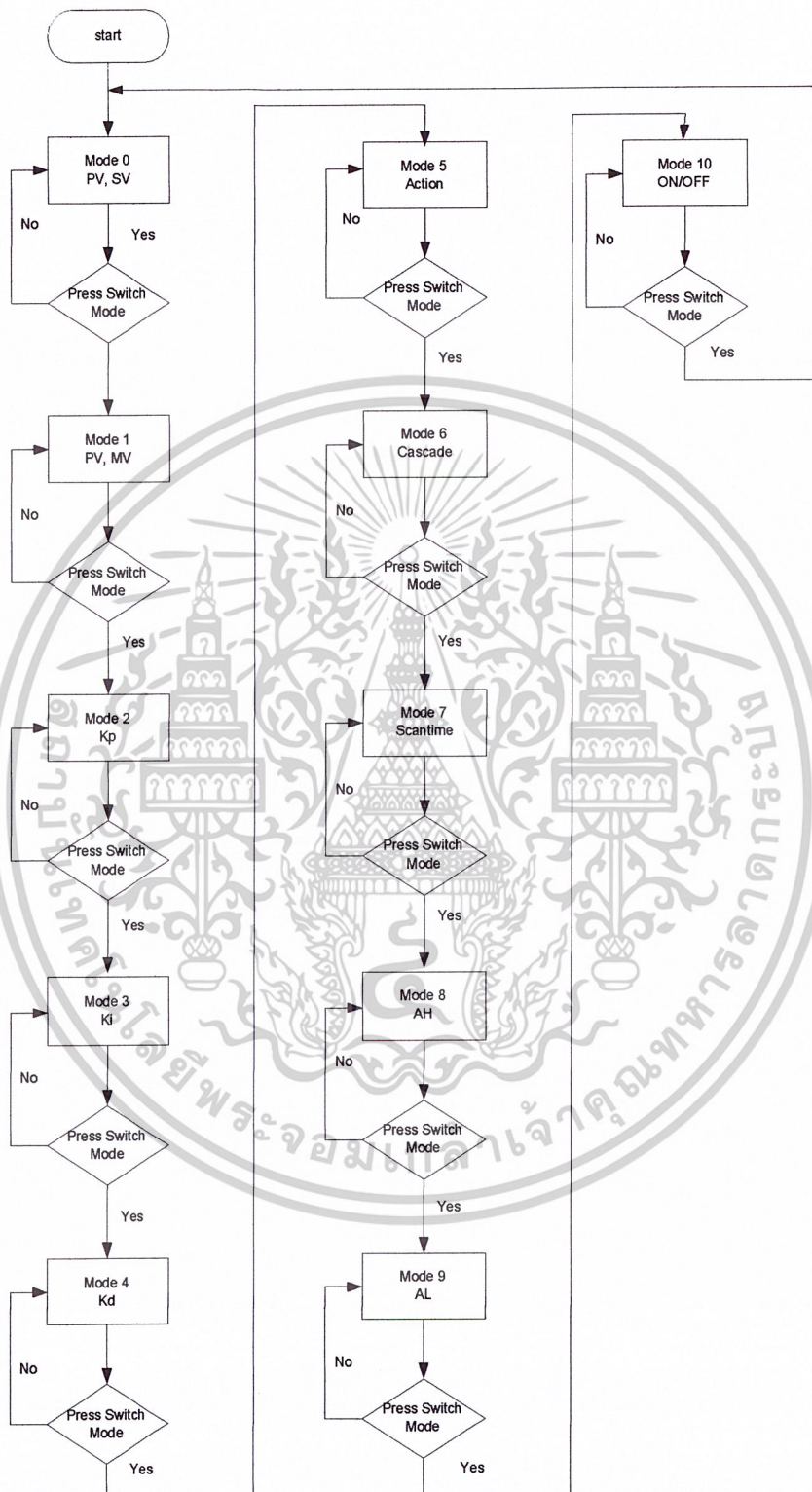


ภาพที่ 3.11 แสดงการใช้งานทั่วไปของไอซีเบอร์ MAX7219

สำหรับโหมดการทำงานทั้ง 11 โหมด ประกอบด้วย โหมดแสดงค่า PV และ SV (Mode 0), โหมดแสดงค่า MV และ PV (Mode 1), โหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kp (Mode 2), Ki (Mode 3) และ Kd (Mode 4), โหมดการเลือกกริยาเครื่องควบคุม Direct/Reverse Action (Mode 5), โหมดเลือกการควบคุมแบบ Cascade (Mode 6), โหมดการตั้งค่า Scan Time (Mode 7), โหมดการตั้งค่า Alarm High (Mode 8) และ Alarm Low (Mode 9) และโหมดเลือกการควบคุมแบบ ON/OFF (Mode 10) ซึ่งสามารถแสดงเป็น Flow Chart การทำงานและอธิบายการทำงานของโหมดต่างๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

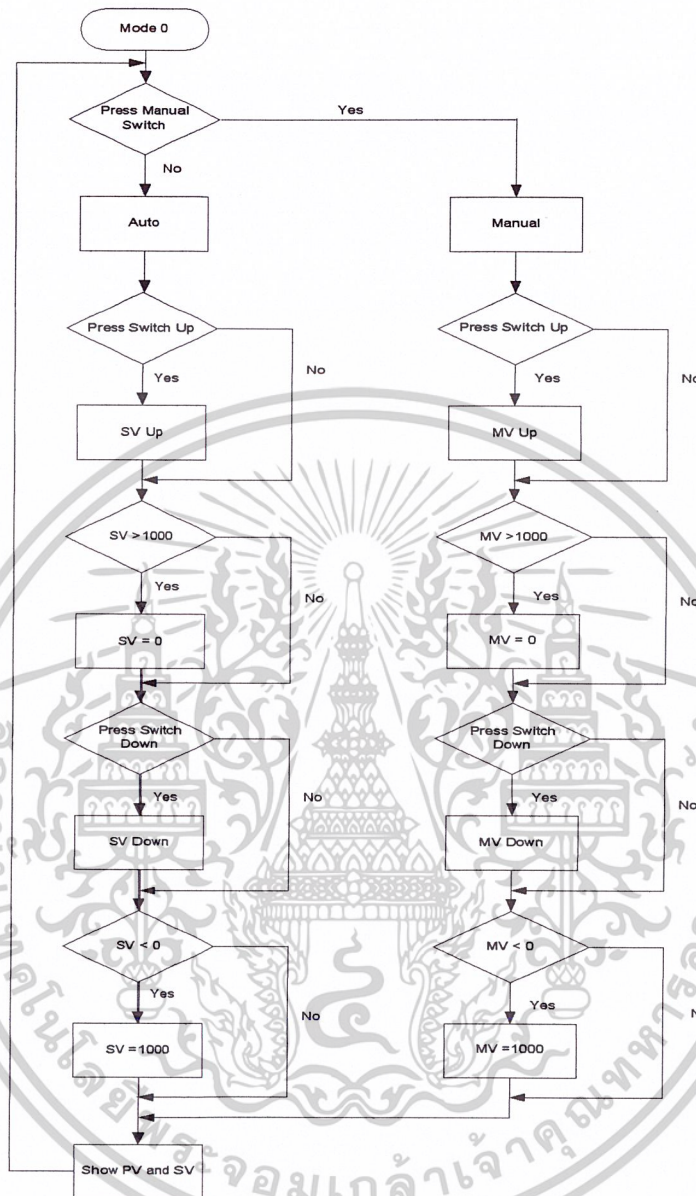
### 3.2.5 Flow Chart การทำงานของโหมดต่างๆของเครื่องควบคุมโดยรวม



ภาพที่ 3.12 Flow Chart แสดงโหมดการทำงาน โดยรวมของเครื่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 Flow Chart ของโหมดแสดงค่า PV และ SV (Mode 0)

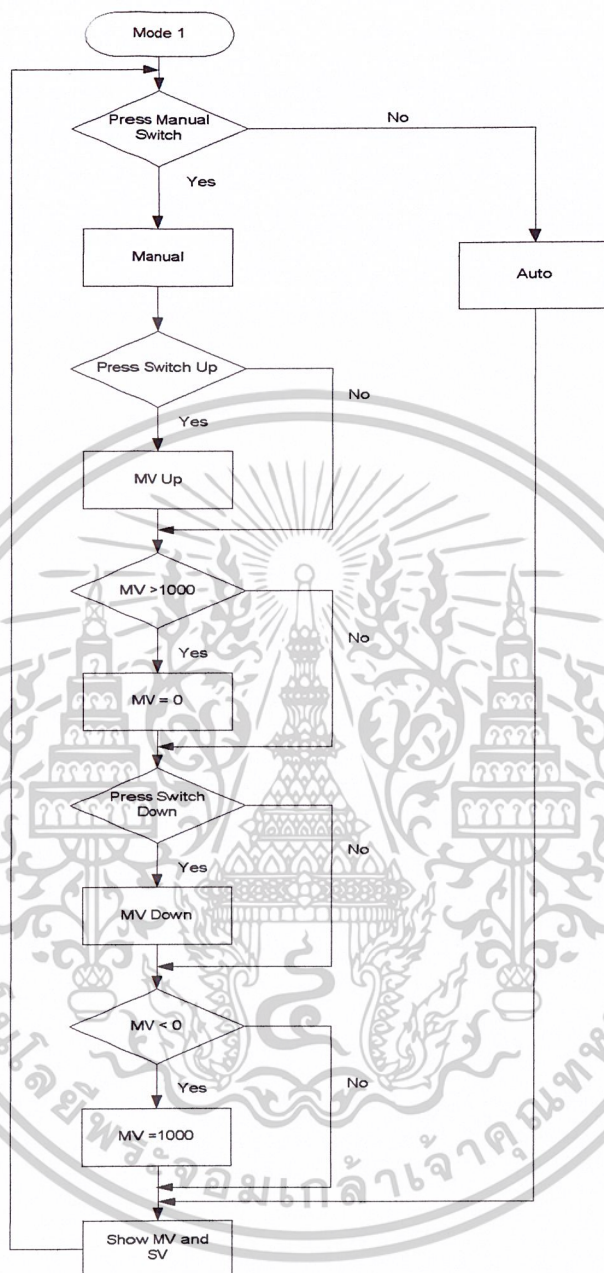


ภาพที่ 3.13 Flow Chart การทำงานของโหมดแสดงค่า PV และ SV (Mode 0)

เริ่มต้นเปิดเครื่องควบคุม การทำงานจะอยู่ที่โหมดการทำงานเริ่มต้น (Mode 0) โดยที่โหมดการทำงานนี้ ส่วนแสดงผลจะแสดงค่า PV และ SV ที่เวลาปัจจุบัน โดยค่า SV สามารถทำการปรับได้โดยกดสวิทช์เพิ่มค่าหรือลดค่าได้โดยตรงที่หน้าปัดของเครื่องควบคุม โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า SV คือ 0 ถึง 1000 เทียบเป็น 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของค่า Full scale หากเพิ่มค่า SV จนเกิน 1000 ค่า SV จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 ขึ้นไปและหากลดค่า SV ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า SV จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 1000 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.7 Flow Chart ของโหมดแสดงค่า MV และ PV (Mode 1)



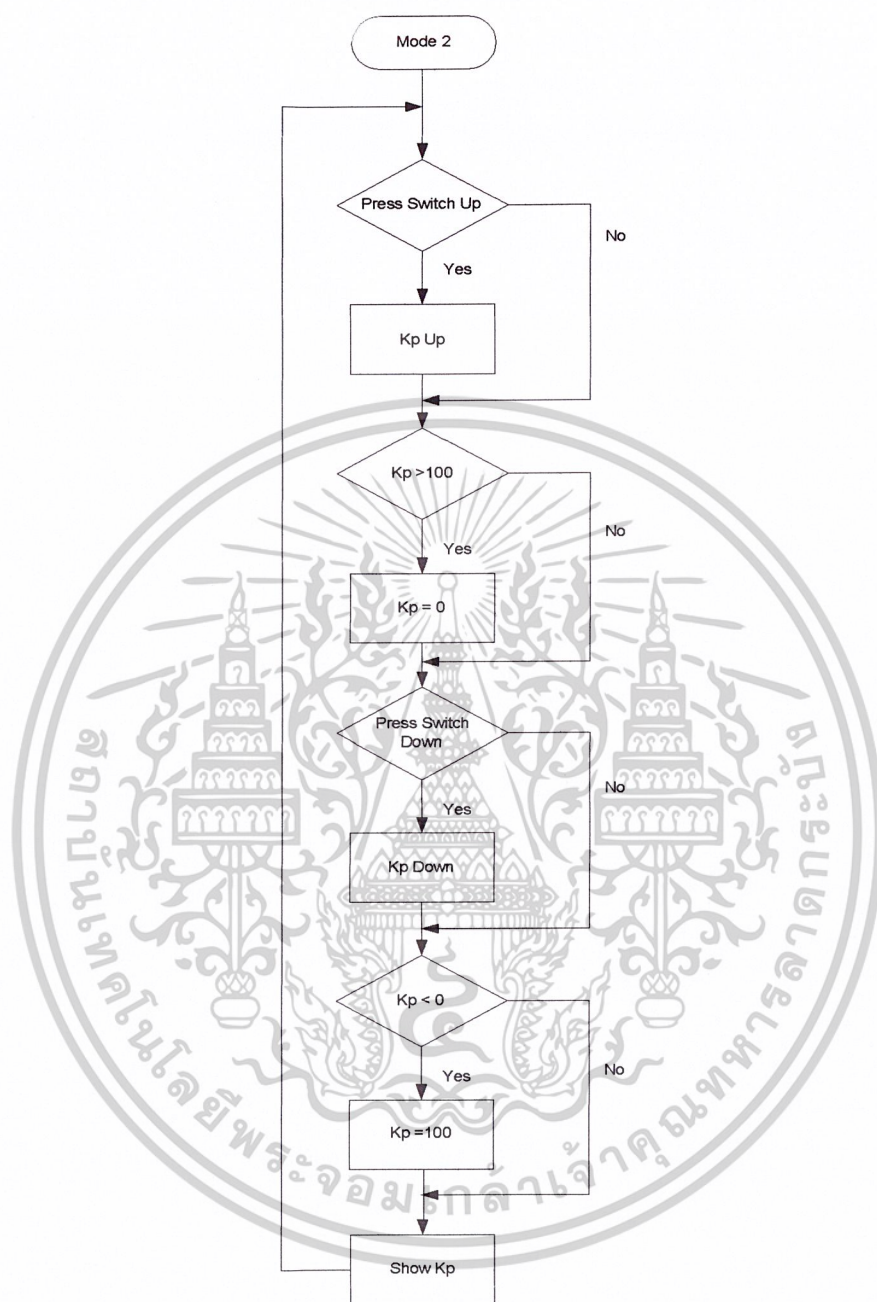
ภาพที่ 3.14 Flow Chart การทำงานของโหมดแสดงค่า PV และ MV (Mode)

ที่โหมดการทำงานนี้ ส่วนแสดงผลจะแสดงค่า PV และ MV ที่เวลาปัจจุบัน หากต้องการปรับค่า MV แบบ Manual ก็สามารทำได้โดยกดสวิชต์ Manual จากนั้นจึงทำการปรับค่า MV โดยกดสวิชต์เพื่อเพิ่มหรือลดค่า MV ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า MV คือ 0 ถึง 1000 เทียบเป็น 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์หากเพิ่มค่า MV จนเกิน 1000 ค่า MV จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 และหากลดค่า MV ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า MV จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 1000 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.8 Flow Chart ของโหมดปรับค่าพารามิเตอร์ Kp (Mode 2)

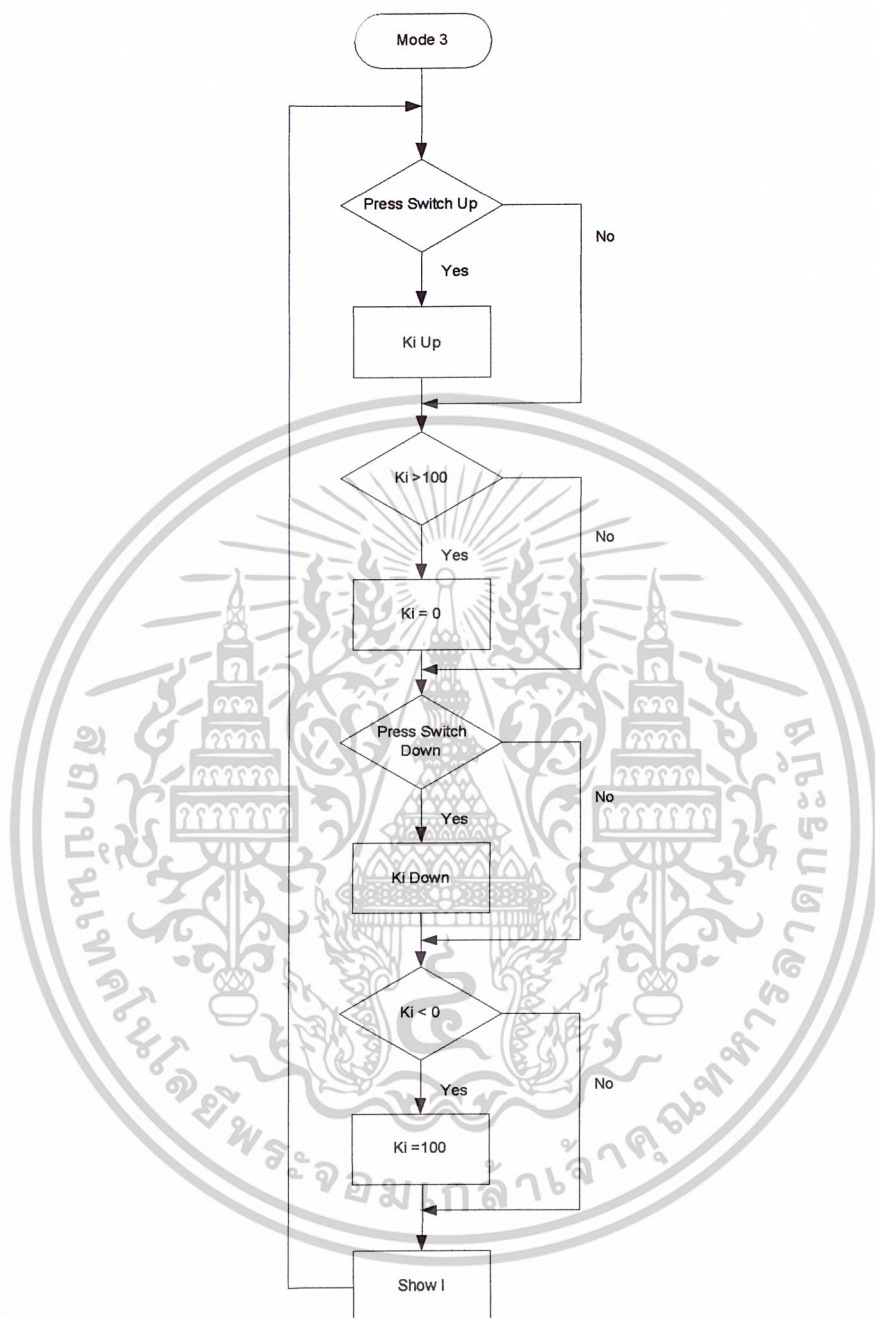


ภาพที่ 3.15 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kp

ที่โหมดการทำงานนี้ส่วนแสดงผลจะแสดงค่า Kp ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การปรับค่า Kp สามารถทำได้โดยการกดสวิตช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า Kp คือ 0 ถึง 100 หากเพิ่มค่า Kp จนเกิน 100 ค่า Kp จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า Kp ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Kp จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 100 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.9 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Ki (Mode 3)

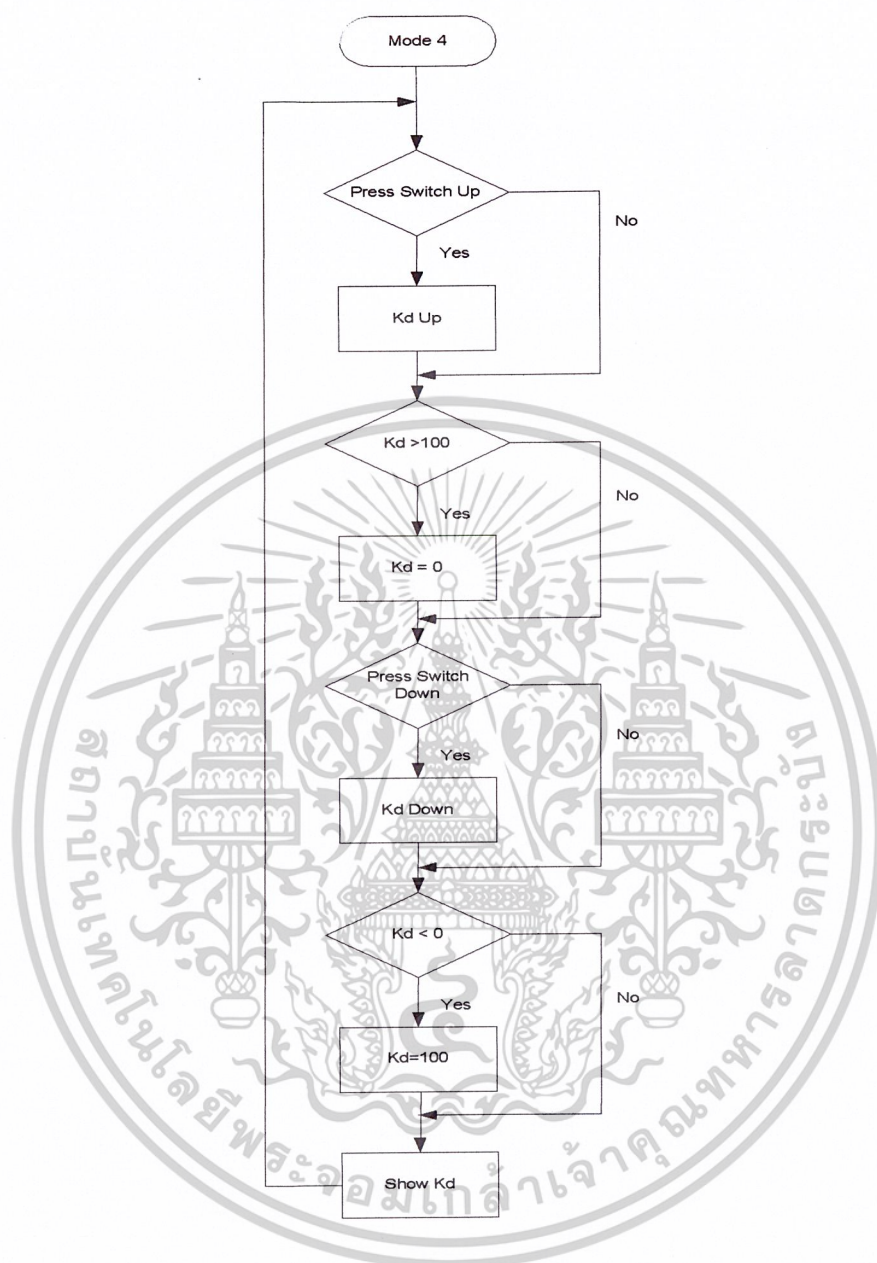


ภาพที่ 3.16 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Ki

ที่โหมดการทำงานนี้ส่วนแสดงผลจะแสดงค่า Ki ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การปรับค่า Ki สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า Ki คือ 0 ถึง 100 หากเพิ่มค่า Ki จนเกิน 100 ค่า Ki จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า Ki ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Ki จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 100 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.10 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kd (Mode 4)

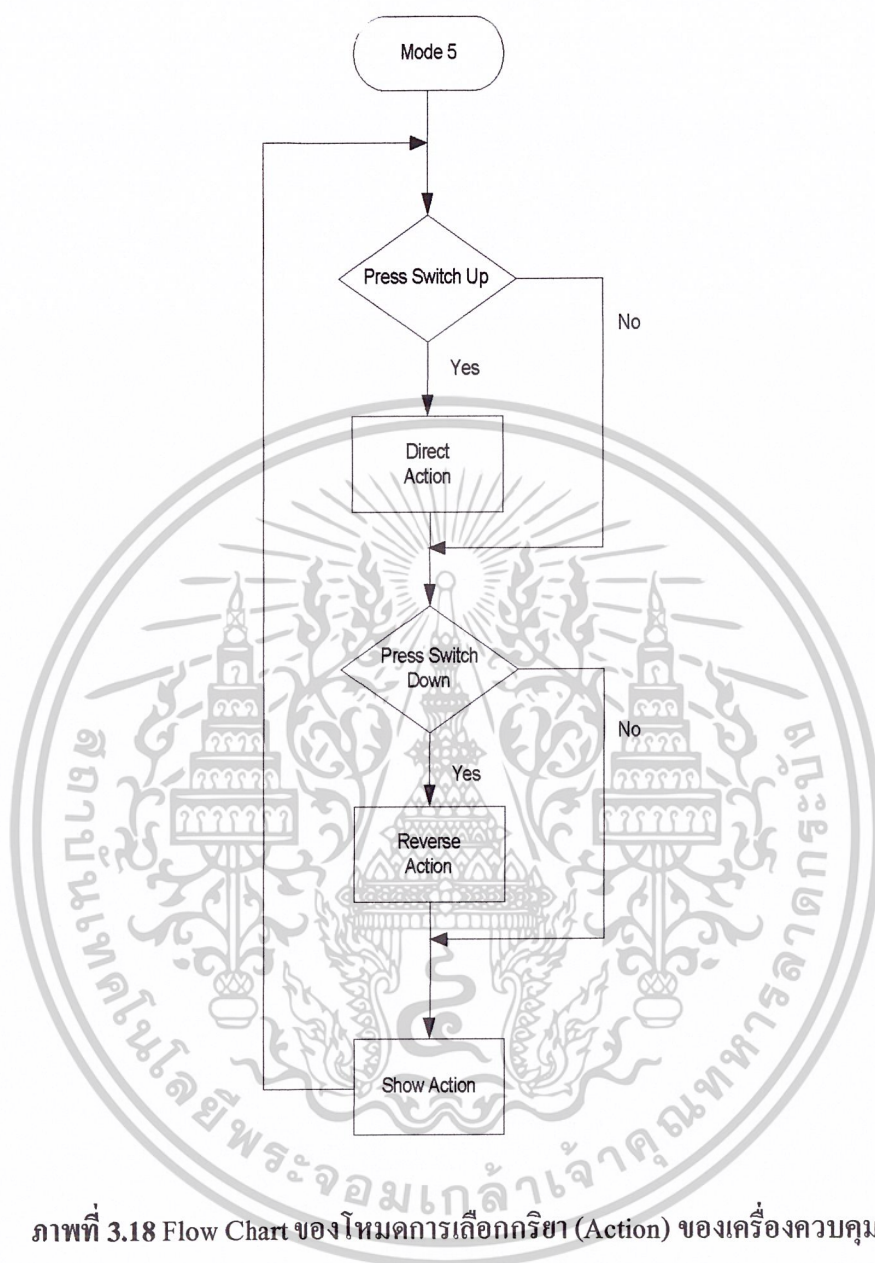


ภาพที่ 3.17 Flow Chart ของโหมดการปรับค่าพารามิเตอร์ Kd

ที่โหมดการทำงานนี้ส่วนแสดงผลจะแสดงค่า Kd ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การปรับค่า Kd สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า Kd คือ 0 ถึง 100 หากเพิ่มค่า Kd จนเกิน 100 ค่า Kd จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่ที่ 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า Kd ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Kd จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 100 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.11 Flow Chart ของโหมดการเลือกกริยา (Action) ของเครื่องควบคุม (Mode 5)

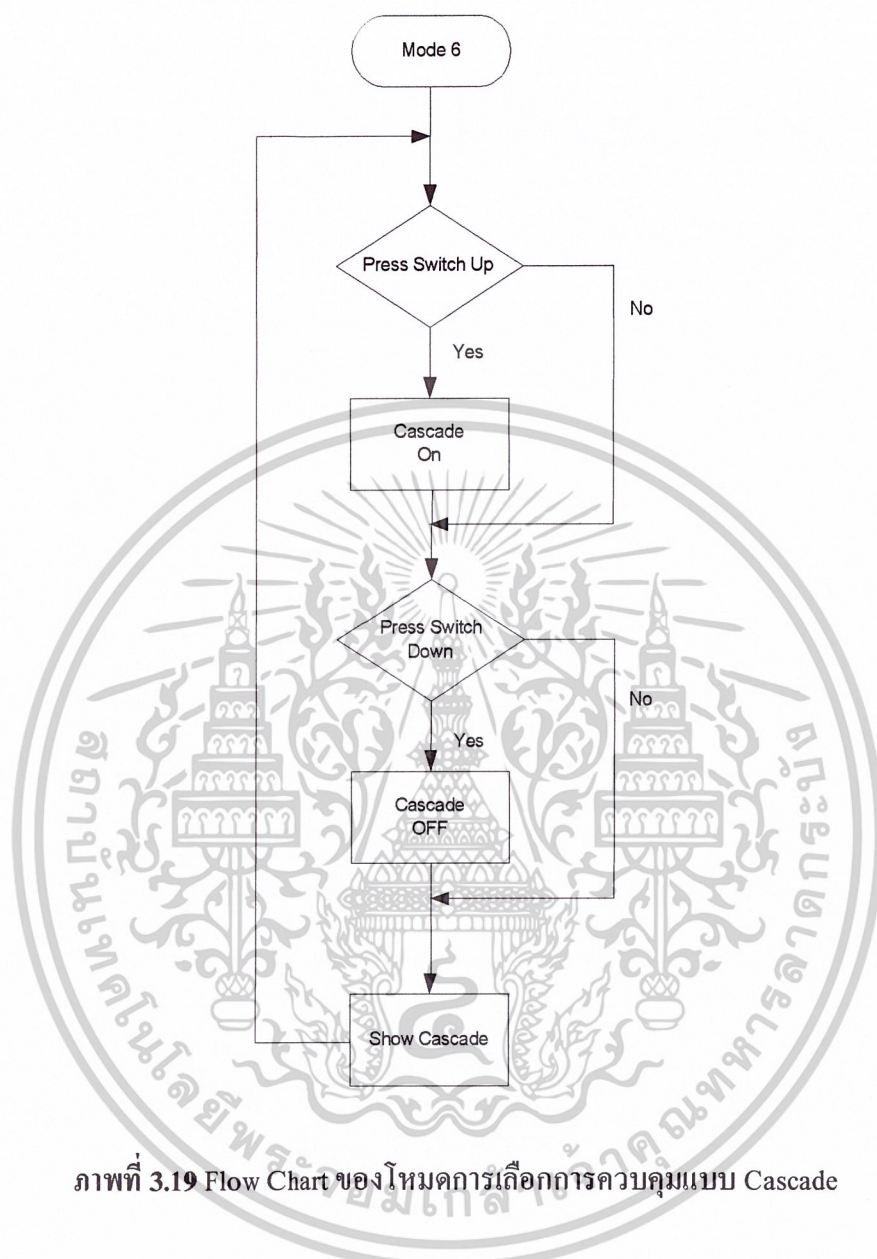


ภาพที่ 3.18 Flow Chart ของโหมดการเลือกกริยา (Action) ของเครื่องควบคุม

ที่โหมดการทำงานนี้ ส่วนแสดงผลจะแสดงกริยา (Action) ของเครื่องควบคุมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การเปลี่ยนกริยาเครื่องควบคุมให้เหมาะสมกับระบบสามารถทำได้โดยการกดสวิทช์เพิ่มค่าเพื่อเลือกกริยาแบบตรง (Direct Action) และกดสวิทช์ลดค่าเพื่อเลือกกริยาแบบกลับ (Reverse Action)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

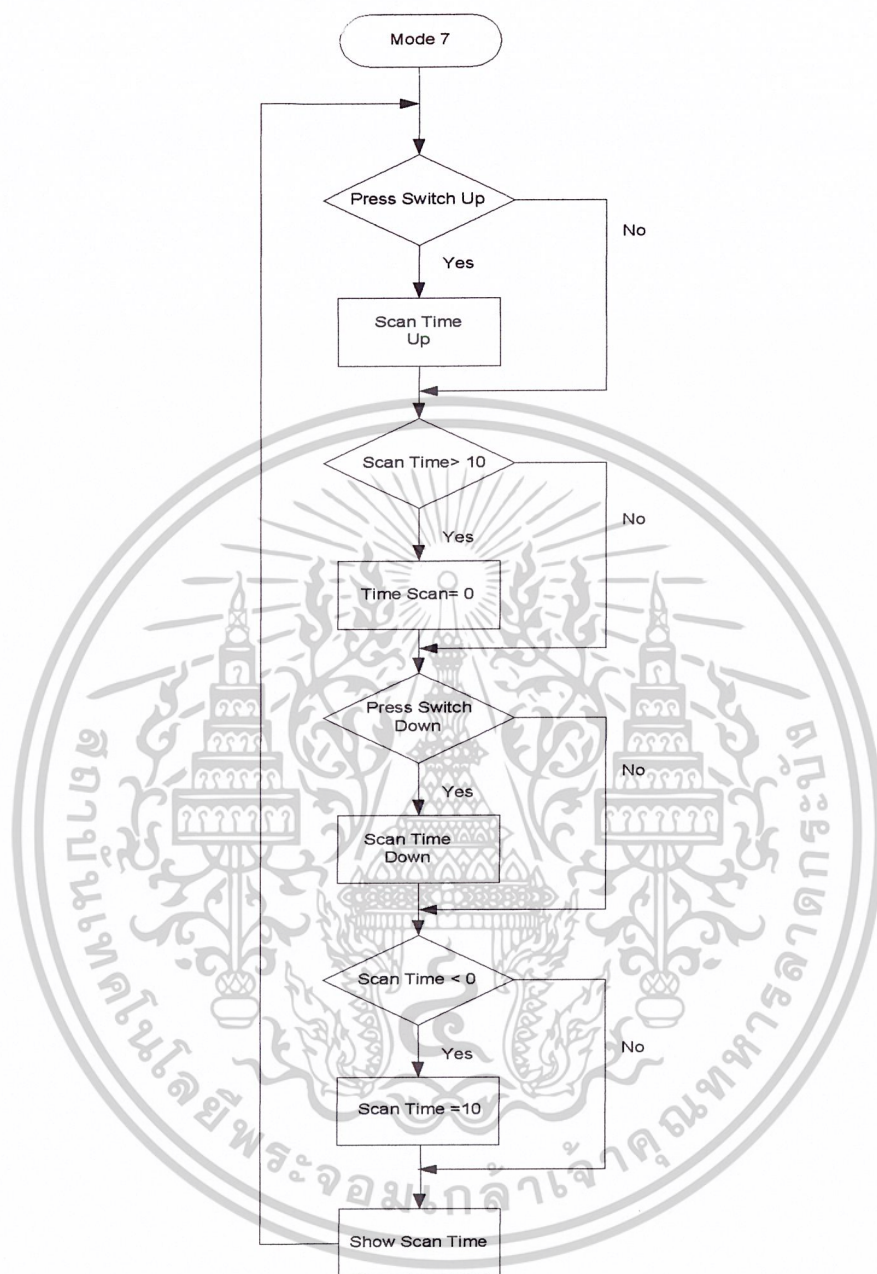
### 3.2.12 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ Cascade (Mode 6)



ภาพที่ 3.19 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ Cascade

ที่โหมดการทำงานนี้ สามารถเลือกให้เครื่องควบคุมทำการควบคุมแบบ Cascade ได้โดยกดสวิชท์เพิ่มค่าเพื่อเลือกให้เครื่องควบคุมทำการควบคุมแบบ Cascade จากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานเข้าไปปรับค่า  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ใน Cascade Loop โปรแกรมจะนำค่า MV ที่คำนวณได้ในลูปรแรก มาเป็น Set point ของ Cascade Loop การยกเลิกการควบคุมแบบ Cascade สามารถทำได้โดยการกดสวิชท์ลดค่าเมื่อเข้าสู่โหมดในครั้งแรก หรือในครั้งต่อไป

### 3.2.13 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Scan time (Mode 7)

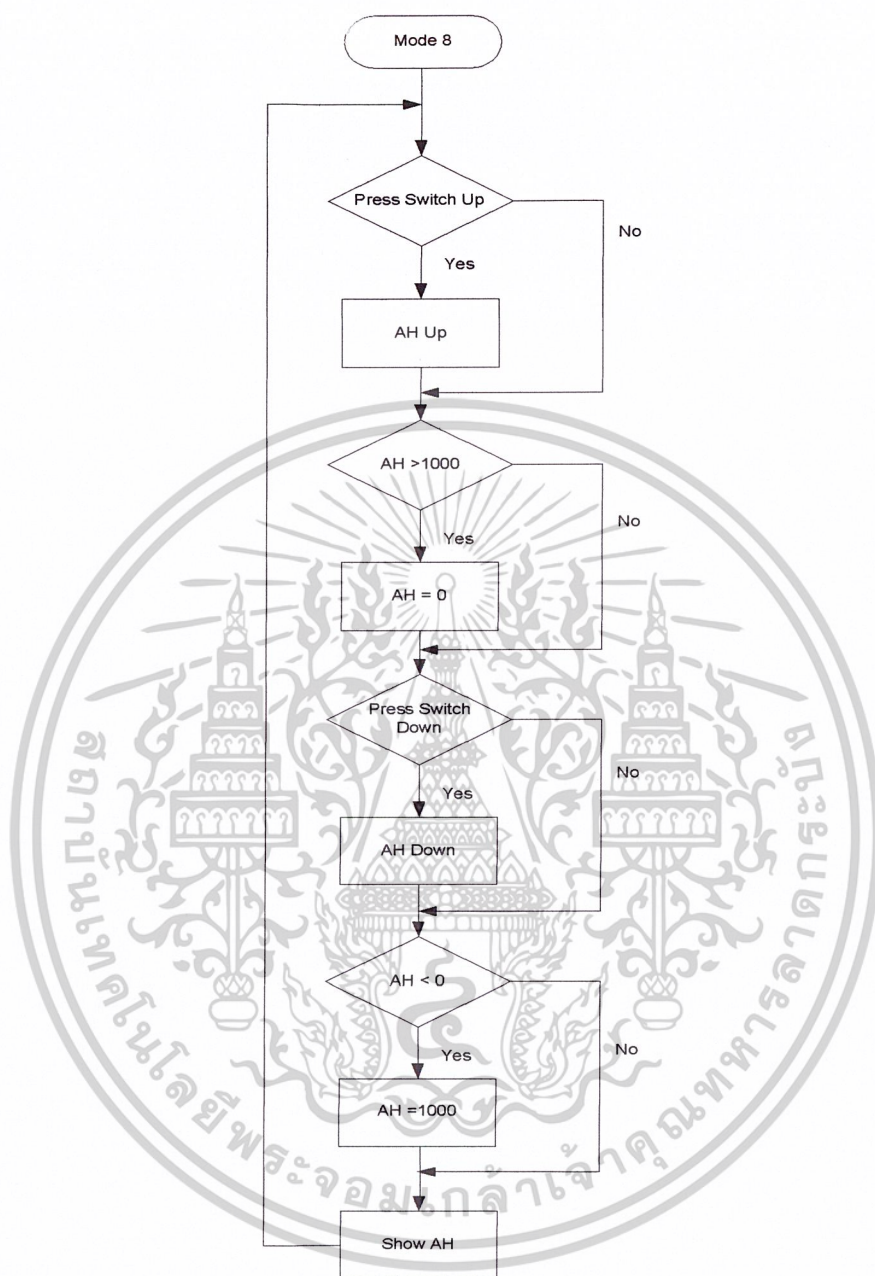


ภาพที่ 3.20 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Scan Time

โหมดการทำงานนี้มีไว้เพื่อตั้งค่า Scan time ให้เหมาะสมกับระบบ โดยการปรับค่า Scan time สามารถทำได้โดยกดสวิทช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่า Scan time ของเครื่องควบคุมมีค่าตั้งแต่ 0.1 วินาที ถึง 1 วินาที หากเพิ่มค่า Scan time จนเกิน 10 ค่า Scan time จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า Scan time ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Scan time จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 10 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.14 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm High (Mode 8)



ภาพที่ 3.21 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm High

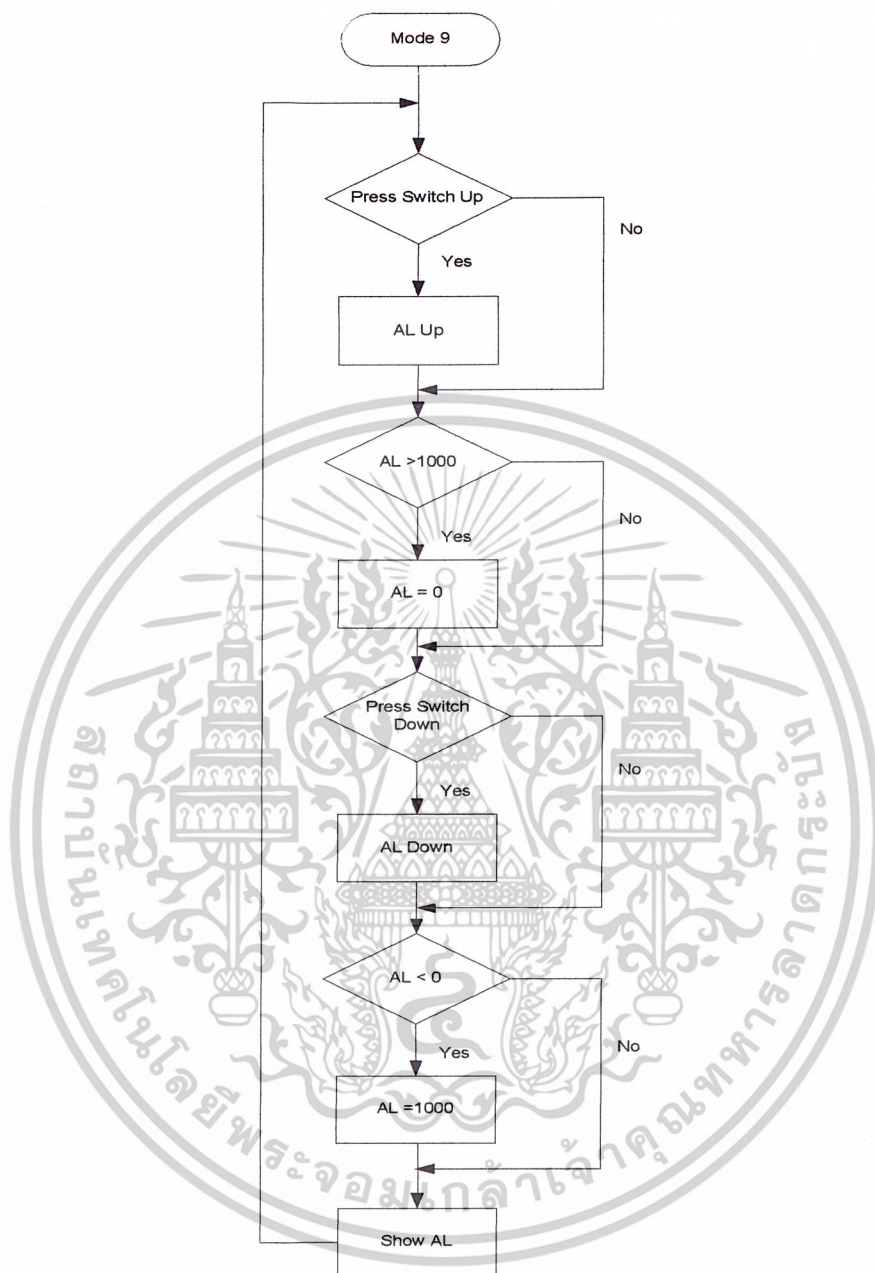
โหมดการทำงานนี้มีไว้เพื่อเตือนว่าค่า PV ที่เวลาปัจจุบันมีค่าเกินกว่าที่ค่าที่กำหนดไว้ โดยที่สามารถทำการตั้งค่า Alarm High ได้ ว่าต้องการให้เตือนเมื่อค่า PV มีค่ามากกว่าค่า PV ที่ตั้งไว้ โดยกดที่สวิทช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า Alarm High คือ 0 ถึง 1000 หากเพิ่มค่า Alarm High จนเกิน 1000 ค่า Alarm High จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหาก

ลดค่า Alarm High ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Alarm High จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 1000 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.15 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm Low (Mode 9)

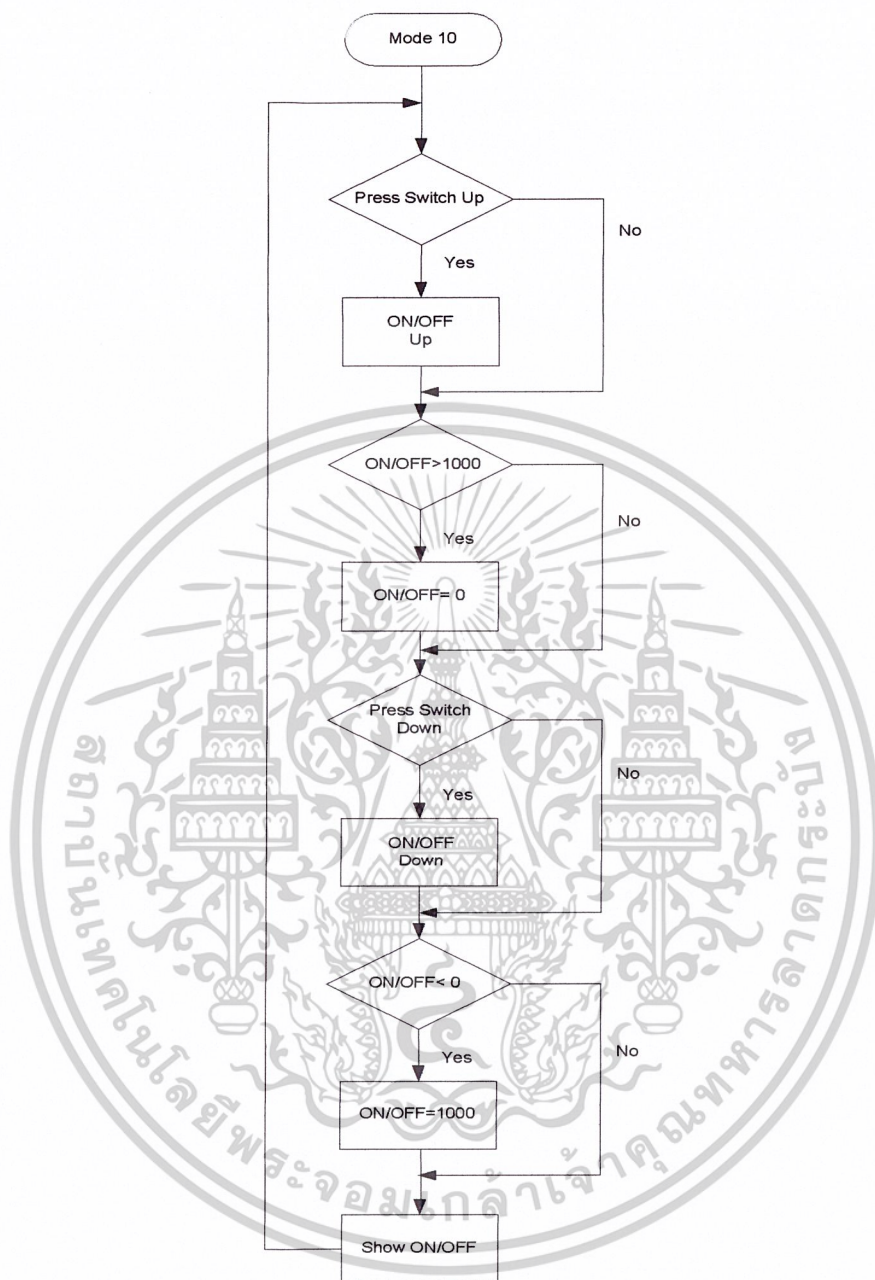


ภาพที่ 3.22 Flow Chart ของโหมดการตั้งค่า Alarm Low

โหมดการทำงานนี้มีไว้เพื่อเตือนว่าค่า PV ที่เวลาปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าที่ค่าที่กำหนดไว้ โดยที่สามารถทำการตั้งค่า Alarm Low ได้ ว่าต้องการให้เตือนเมื่อค่า PV มีค่าต่ำกว่าค่า PV ที่ตั้งไว้ โดยกดที่สวิทช์เพิ่มหรือลดค่าได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่า Alarm Low คือ 0 ถึง 1000 หากเพิ่มค่า Alarm Low จนเกิน 1000 ค่า Alarm Low จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า Alarm Low ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Alarm Low จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 1000 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.16 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ ON/OFF (Mode 10)

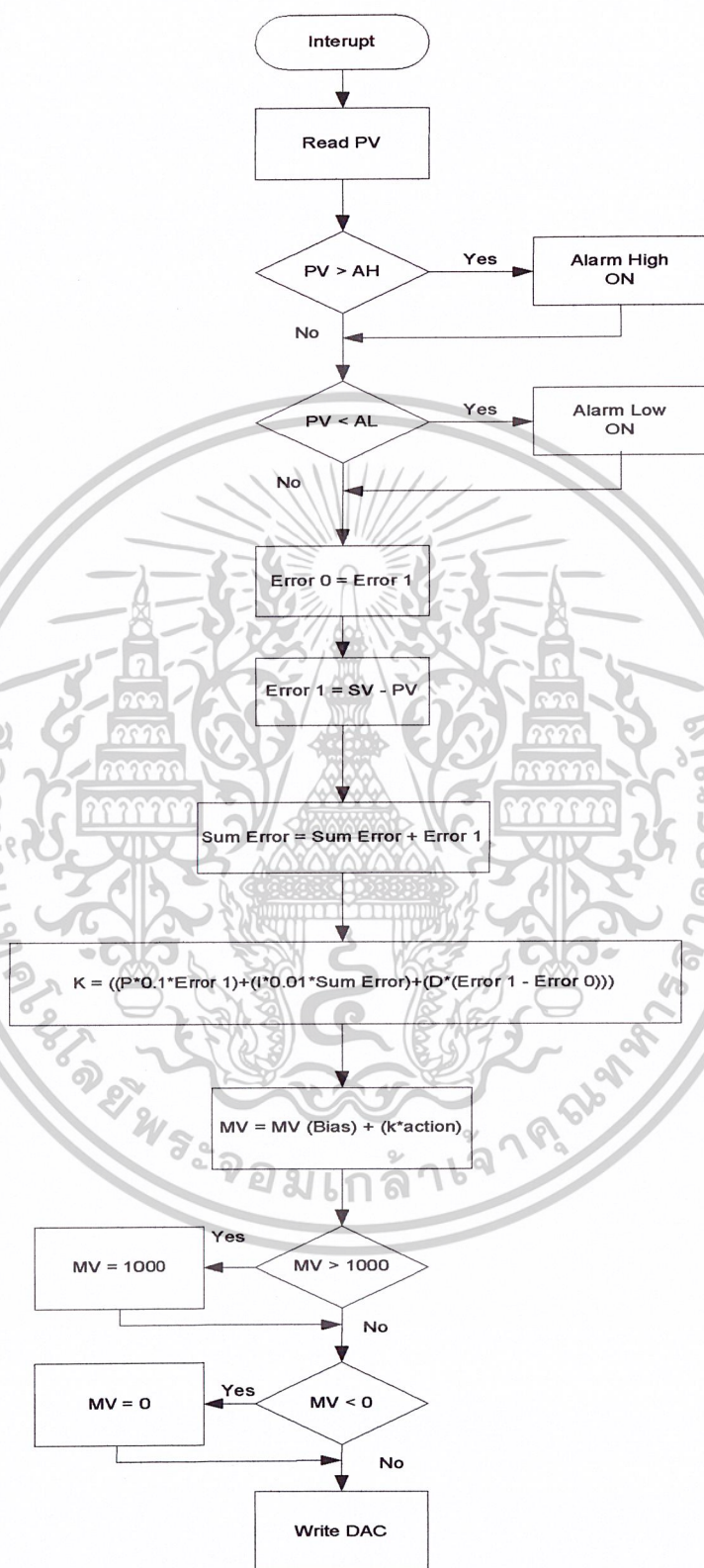


ภาพที่ 3.23 Flow Chart ของโหมดการเลือกการควบคุมแบบ ON/OFF

โหมดการทำงานนี้มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้เลือกที่ต้องการให้เครื่องควบคุมทำการควบคุมแบบ ON/OFF หรือไม่ หากต้องการก็สามารถกดสวิชท์เพิ่มหรือลดค่าเพื่อตั้งค่า ON/OFF ได้โดยตรง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของการ ON/OFF คือ 0 ถึง 1000 หากเพิ่มค่า ON/OFF จนเกิน 1000 ค่า ON/OFF จะกลับไปเริ่มต้นนับใหม่จาก 0 เช่นเดียวกันหากลดค่า ON/OFF ลงจนต่ำกว่า 0 ค่า ON/OFF จะเริ่มต้นนับถอยหลังใหม่จาก 1000 ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.17 Flow Chart การทำงานส่วน Interrupt



ภาพที่ 3.24 Flow Chart แสดงการทำงานส่วน Interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Interrupt เริ่มจากการอ่านค่าจาก ADC แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Alarm High ว่ามากกว่าหรือไม่ ถ้ามากกว่าให้ Alarm High On ถ้าไม่ก็นำมาเปรียบเทียบกับค่า Alarm Low ว่าน้อยกว่าหรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้ Alarm Low On จากนั้นกำหนดให้ Error 0 = Error 1 แล้วนำค่า PV ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Set point เพื่อหาค่า Error 1 ใหม่

กำหนดให้ค่า Sum Error = Sum Error + Error1 แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า K ตามสูตร  $K = (P*0.1*Error\ 1) + (I*0.01*Sum\ Error) + (D*(Error\ 1 - Error\ 0))$  แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า MV ใหม่ตามสูตร  $MV = MV(Bias) + (K * action)$  โดยให้ค่า MV(Bias)ของเครื่องควบคุมที่จัดทำขึ้นมีค่า 500

ค่า MV ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับว่ามากกว่า 1000 หรือไม่ ถ้ามากกว่าให้  $MV = 1000$  แล้วนำค่า MV ที่ได้มาเปรียบเทียบกับว่าน้อยกว่า 0 หรือไม่ ถ้าน้อยกว่า ให้  $MV = 0$  แล้วส่งค่า MV ที่ได้ไปยัง DAC



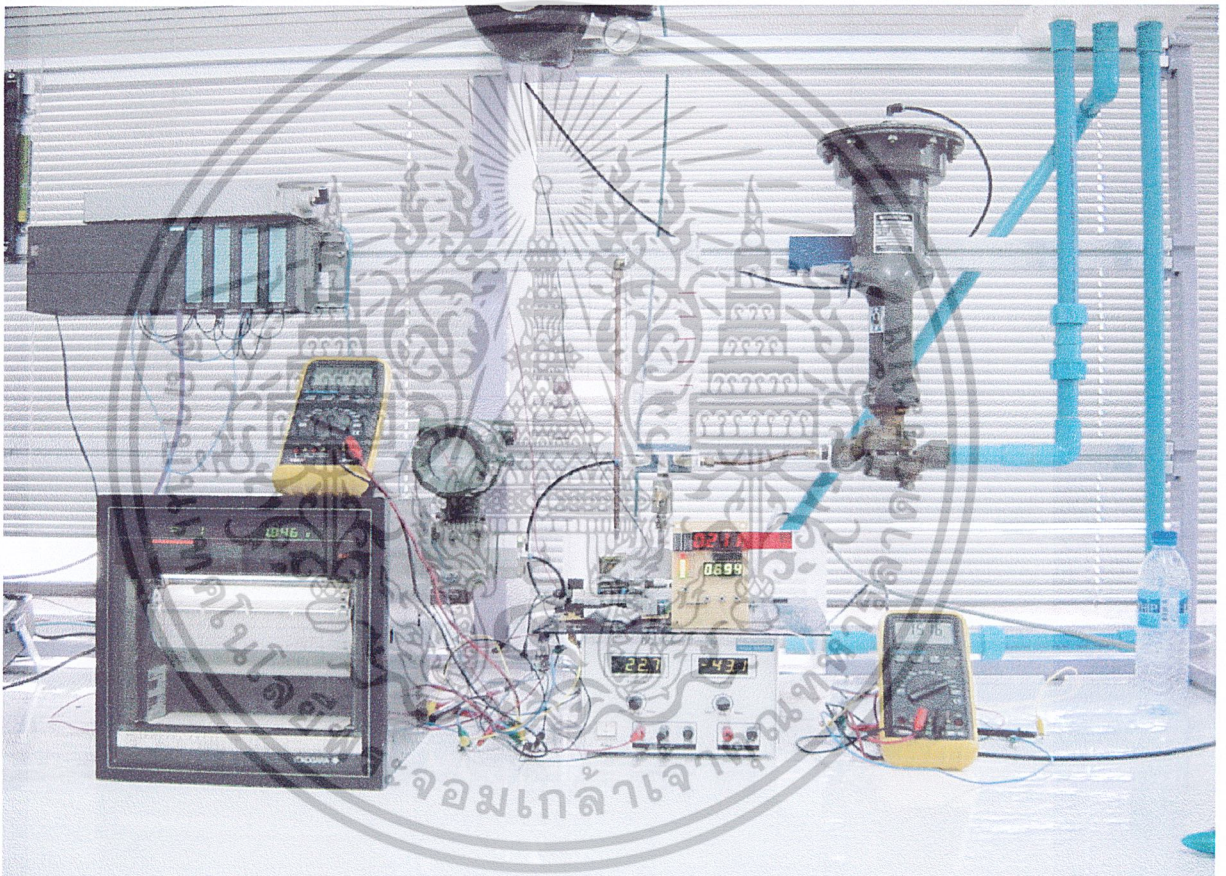
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับของของเหลว

การทดลองนี้เป็นการทดลองควบคุมระดับของของเหลว โดยใช้เครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบมาใช้งานจริงในกระบวนการควบคุมระดับของของเหลวดังภาพที่

4.1

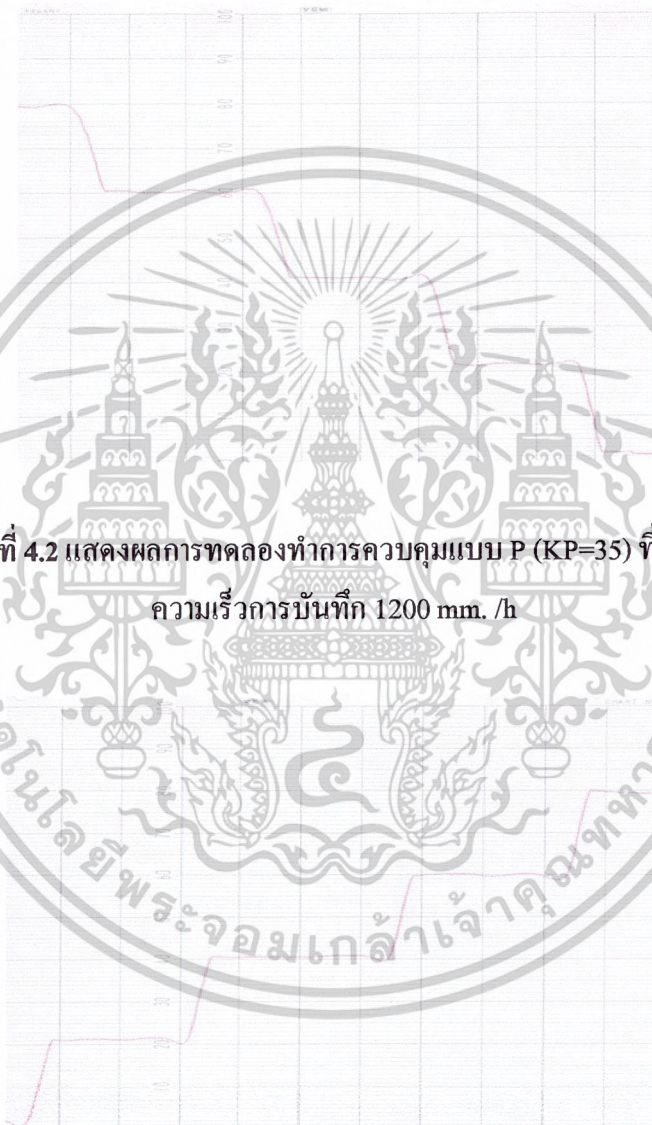


ภาพที่ 4.1 แสดงกระบวนการควบคุมระดับของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง

โดยทดลองทำการควบคุมแบบ P, PI และ PID ทั้งขาขึ้นและขาลง ที่ค่า Set Point 20%, 40%, 60% และ 80% ของค่า Full scale และเมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน(Disturbance) โดยในการทดลองใส่สิ่งรบกวนนี้ใช้ขวดน้ำคีมพลาสติกที่มีใส่น้ำอยู่ประมาณ  $\frac{1}{2}$  ของปริมาตรขวดใส่ลงไป Tank ที่ทำการทดลองเพื่อจำลองการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของระดับน้ำใน Tank ซึ่งในกระบวนการควบคุมจริงอาจเกิดขึ้นได้เช่น มีสิ่งอุดตันทำให้ท่อน้ำที่ทางออกของ Tank เกิดการอุดตันขึ้น ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นต้น และเมื่อนำขวดน้ำดื่มนี้ออกจะทำให้ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ซึ่งในกระบวนการควบคุมจริงอาจเกิดการลดลงอย่างรวดเร็วของระดับน้ำได้เช่นเกิดการแตกหักหรือรอยรั่วขึ้นที่ผนัง Tank หรือท่อน้ำที่ทางออกของ Tank เป็นต้น ทำการปรับแต่งค่าอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  และบันทึกผลการทดลองด้วย Recorder

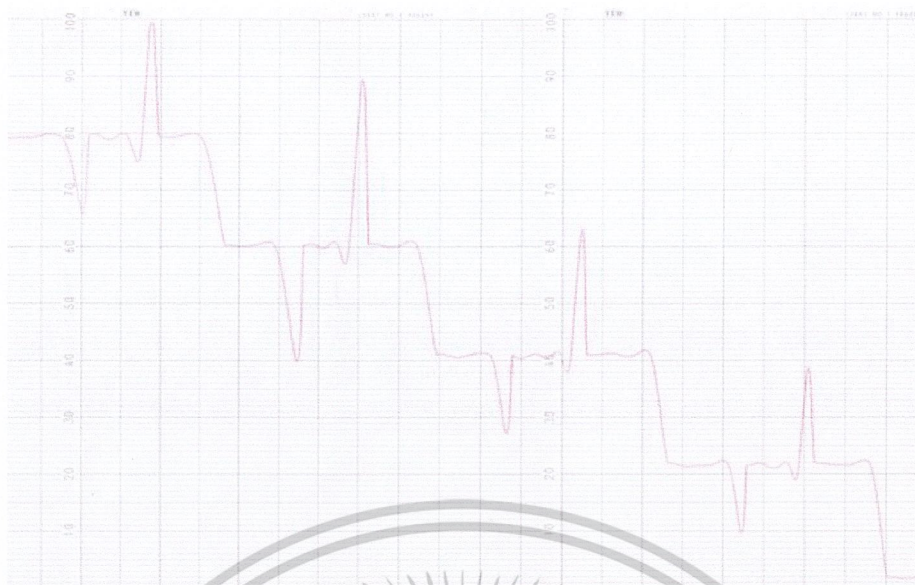
#### 4.1.1 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P



ภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_P=35$ ) ที่ขาขึ้น  
ความเร็วการบันทึก 1200 mm. /h

ภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_p = 35$ ) ที่ขาลง  
ความเร็วการบันทึก 1200mm. /h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P ( $K_p = 35$ ) เมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน ความเร็วการบันทึก 1200 mm. /h

#### 4.1.2 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PI

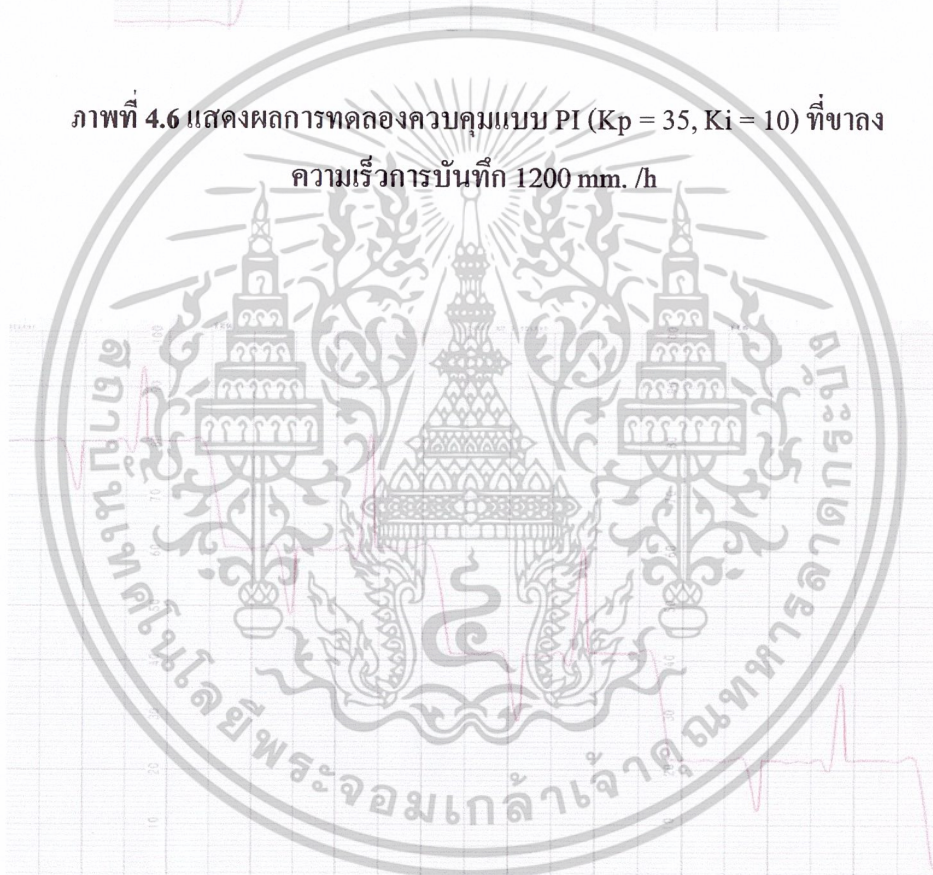


ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35, K_i = 10$ ) ที่ขาขึ้น ความเร็วการบันทึก 1200 mm. /h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



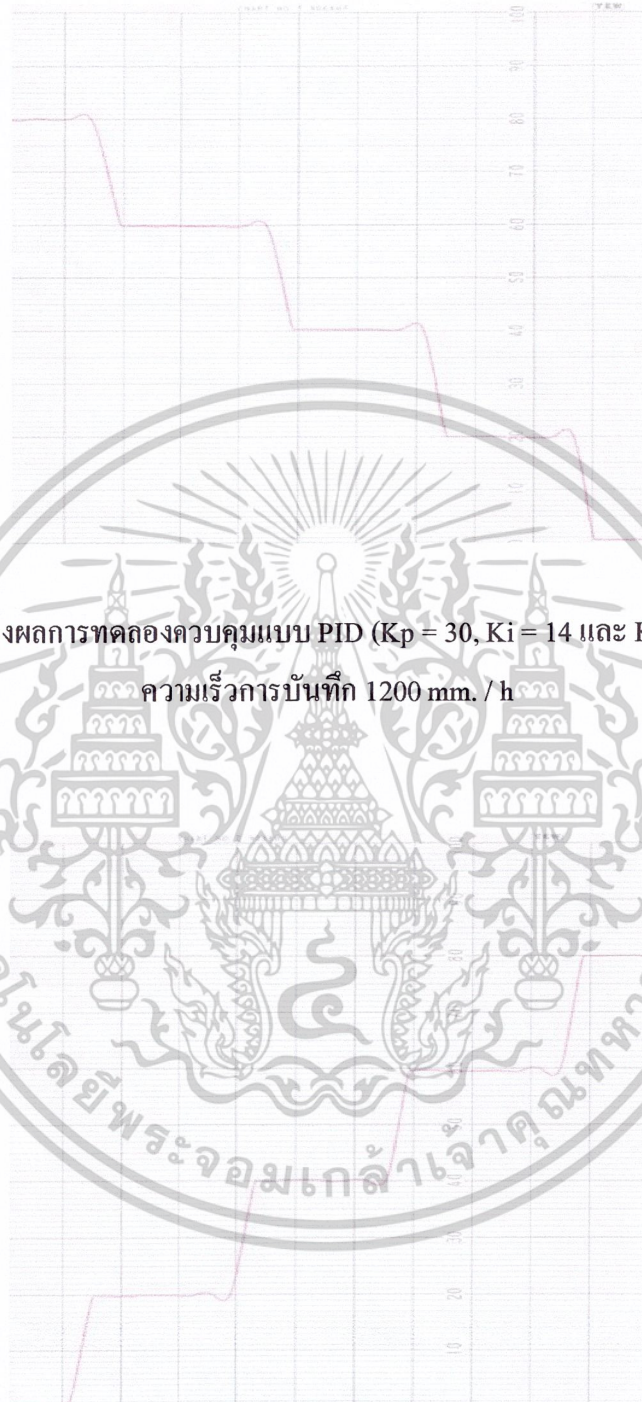
ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35$ ,  $K_i = 10$ ) ที่ขาลง  
ความเร็วการบันทึก 1200 mm. /h



ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PI ( $K_p = 35$ ,  $K_i = 10$ ) เมื่อกระบวนการมีสิ่งรบกวน  
ความเร็วการบันทึก 1200 mm. /h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

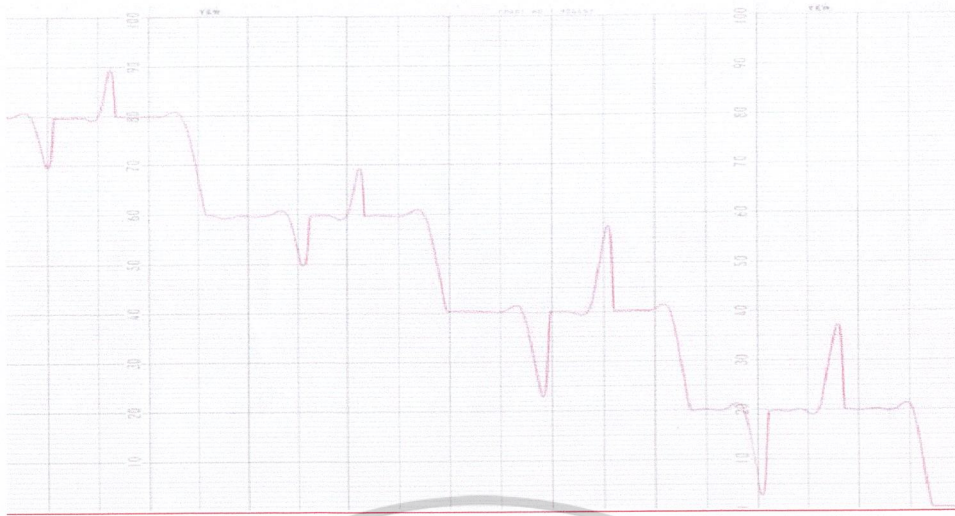
### 4.1.3 ผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PID



ภาพที่ 4.8 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30$ ,  $K_i = 14$  และ  $K_d = 70$ ) ที่ขาขึ้น  
ความเร็วการบันทึก 1200 mm. / h

ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30$ ,  $K_i = 14$  และ  $K_d = 70$ ) ที่ขาลง  
ความเร็วการบันทึก 1200 mm. / h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 แสดงผลการทดลองควบคุมแบบ PID ( $K_p = 30$ ,  $K_i = 14$  และ  $K_d = 70$ ) เมื่อ  
กระบวนการมีสิ่งรบกวน ความเร็วการบันทึก 1200 mm. / h

## 4.2 สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลองทำการควบคุมแบบ P พบว่า การตั้งค่า  $K_p$  ที่เหมาะสมจะมีผลทำให้ระบบเข้าสู่ Set Point เร็ว และเกิด Offset น้อย การตั้งค่า  $K_p$  มากเกินไปจะมีผลทำให้ระบบเกิดการแกว่ง (Oscillate) รอบค่า Set Point อาจทำให้ค่า PV ไม่เข้าสู่ Set Point เลยก็ได้ และถ้าตั้งค่า  $K_p$  น้อยเกินไปจะมีผลทำให้ระบบเข้าสู่ Set Point ช้าลง และเกิด Offset มาก

2. จากผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PI พบว่า ผลของเทอม I จะทำให้ระบบมีค่า Offset น้อยลง แต่การตอบสนองต่อกระบวนการอาจช้าลงเนื่องจากค่า sum error ที่เครื่องควบคุมต้องการคำนวณอยู่ตลอดเวลาและยังอาจทำให้เกิดการแกว่ง (Oscillate) ได้อีกด้วย การแก้ไขสามารถทำได้โดยลดค่า sum error ในโปรแกรมของเครื่องควบคุมให้น้อยลง และตั้งค่า  $K_i$  ให้เหมาะสม

3. จากผลการทดลองทำการควบคุมแบบ PID พบว่า ผลของเทอม D จะทำให้ระบบเข้าสู่ Set Point ได้ราบรื่นขึ้น ลดการแกว่งของค่า PV เนื่องจากผลของเทอม D ที่สามารถทำการคาดการณ์ล่วงหน้า (Pre-act) ได้

กรณีที่ตั้งค่า Scan time เร็ว ในกระบวนการที่ช้า ผลของเทอม D จะมีผลต่อกระบวนการน้อย ดังนั้นในกระบวนการที่ช้าควรตั้งค่าของ Scan time ให้ช้าลงซึ่งจะทำให้เทอม D สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่า error ได้ชัดเจนขึ้น

4. จากการทดลองที่มีสิ่งรบกวน (Disturbance) เกิดขึ้นด้วยนั้น จากการทดลองทำการควบคุมทั้ง 3 แบบ พบว่าเครื่องควบคุมที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถตอบสนองต่อสิ่งรบกวนได้

เป็นอย่างดีโดยพิจารณาได้จากกราฟของเครื่องบันทึกที่มีความเร็วในการบันทึก 1200 mm. /h r  
พบว่าระบบสามารถกลับเข้าสู่ค่า Set Point ได้อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 บทสรุป

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเรื่องของการศึกษา ออกแบบ และจัดทำเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลให้สามารถทำการควบคุมกระบวนการแบบ PID ได้ และให้มีฟังก์ชันการทำงานใกล้เคียงกับเครื่องควบคุมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีขายทั่วไป ฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายในการทำงานช่วยให้การทำงานง่ายและนำไปใช้กับกระบวนการที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขนาดย่อมได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต และสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการผลิตอีกด้วย

โดยการดำเนินโครงการนี้เริ่มตั้งแต่เริ่มศึกษาถึงกระบวนการควบคุมแบบต่างๆทั้งแบบ P, PI และ PID ศึกษาฟังก์ชันการใช้งานของเครื่องควบคุมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งศึกษาการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการใช้ภาษาซี จากนั้นจึงนำความรู้ที่ได้มาทำการออกแบบและจัดทำเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลขึ้น แบ่งการทำงานเครื่องควบคุมออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ส่วนประมวลผล ส่วนเอาต์พุต และส่วนแสดงผล โดยส่วนใหญ่รับสัญญาณวัดจากกระบวนการที่ได้มาจากเครื่องมือวัดแล้วแปลงเป็นสัญญาณ 0-5 V ส่งผ่านไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter) แล้วส่งเข้าไปประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ทำการโปรแกรมไว้ด้วยภาษาซี โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (Set Point) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังการประมวลผลจะได้สัญญาณดิจิทัลที่ทางออกของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมส่งผ่านไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A Converter) ออกไปเป็นสัญญาณควบคุมต่อไป

จากการทดลองเครื่องควบคุมที่ได้สร้างขึ้นนี้ ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ในการใช้งานสามารถทำการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการควบคุมให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้ จากการนำไปทดลองควบคุมระดับของเหลวผลการทดลองทำให้ทราบว่า เครื่องควบคุมสามารถทำการควบคุมได้เป็นที่น่าพอใจโดยเฉพาะการตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าเครื่องควบคุมมีการตอบสนองที่รวดเร็วต่อสิ่งรบกวนกระบวนการ ดังนั้นหากนำเครื่องควบคุมที่จัดทำขึ้นไปทำการพัฒนาต่อไปก็อาจลดความผิดพลาดต่างๆให้น้อยลงได้ และอาจพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การพัฒนาต่อไปเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต้องทำการออกแบบรูปร่าง หน้าตาของเครื่องควบคุมให้มีขนาดกระทัดรัดขึ้น รวมถึงการออกแบบวงจรภายในเครื่องควบคุมให้มีขนาดที่เล็กกะทัดรัดแต่มีความถูกต้องแม่นยำและมีเสถียรภาพในการทำงาน

การเพิ่มจำนวน Input Channel จากเดิมที่มีอยู่ 2 Channel เป็น 4 Channel เพื่อขยายขอบเขตในการควบคุมก็สามารถทำได้เนื่องจากจำนวน Input Channel ของไอซี ADS 7841 ที่มีหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ส่วน Input ของเครื่องควบคุมมีให้เลือกใช้งานได้ 4 Channel

นอกจากนั้นอาจเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานพิเศษเข้าไปอีกเพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำไปใช้งานให้มากขึ้นอีก เช่น Duplex Control และฟังก์ชัน Auto Tune ให้เครื่องควบคุมสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้โดยอัตโนมัติ เป็นต้น



## บรรณานุกรม

ผศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล: การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซีม, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., พฤษภาคม 2545

ประกรานต์ ทรัพย์ผดุงชนม์,สมใจ ผิวคำขำ, วิไลวรรณ อาทรศิริรัตน์: เครื่องควบคุม PID/ON-OFF แบบหลายช่องสัญญาณ ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546

Carlos A. Smith, Armando B. Corripio: Principle and Practice of Automatic Process Control, John Wiley & Sons, 1985



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

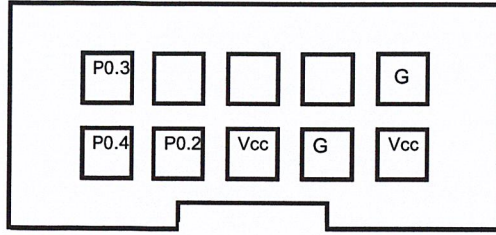


**ภาคผนวก**

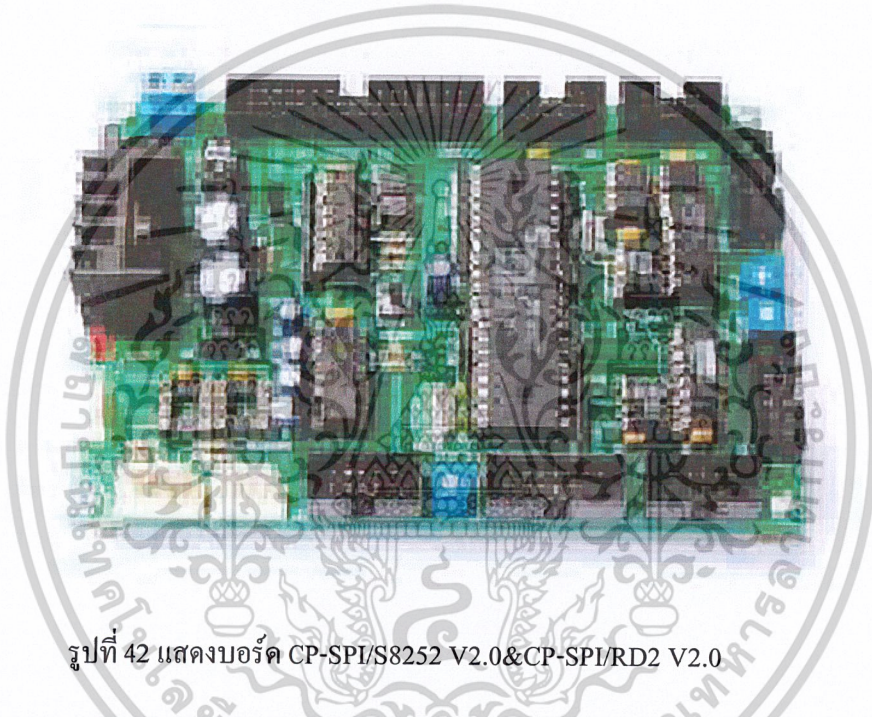
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัว ET-SDP8**

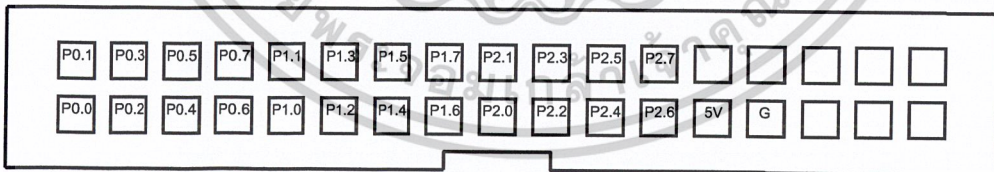
จากรูปที่ 41 แสดงให้เห็นหัว ET-SDP8 ที่อยู่บนบอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0& CP-SPI/RD2 V2.0



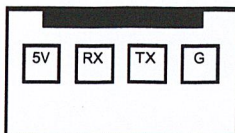
รูปที่ 41 แสดงหัวต่อใช้งานของ ET-SDP8



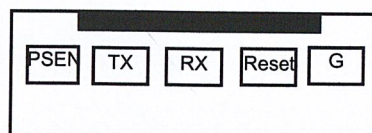
รูปที่ 42 แสดงบอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0&CP-SPI/RD2 V2.0



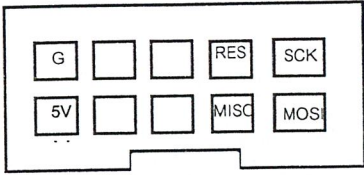
a) หัวต่อ 72IOZ80



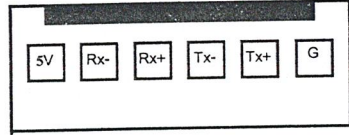
b) หัวต่อ RS232



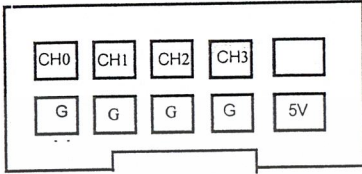
c) หัวต่อ LOAD(RD2)



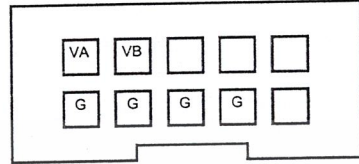
d) ขั้วต่อ LOAD(S8252)



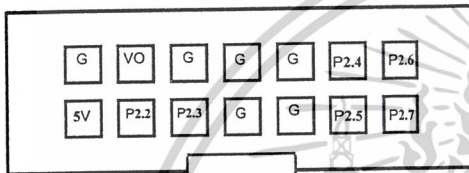
e) ขั้วต่อ RS422/485



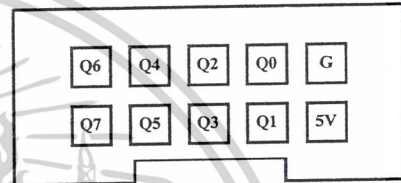
ก) ขั้วต่อ ADS7841



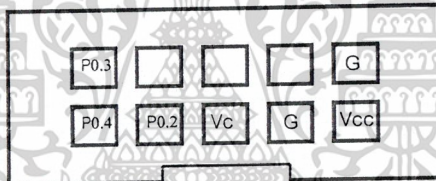
ง) ขั้วต่อ LTC1661



ห) ขั้วต่อ LCD Character

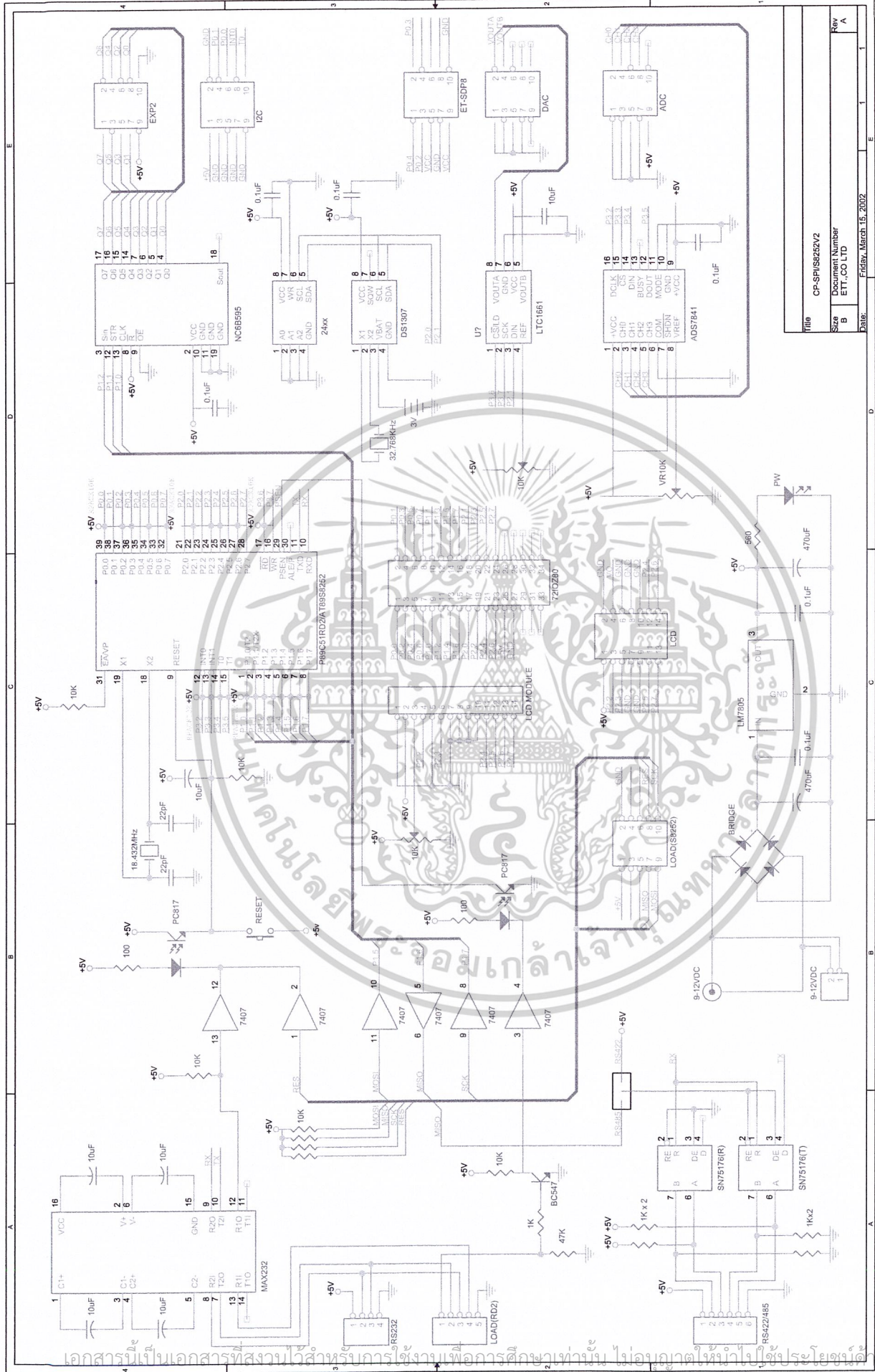


ฉ) ขั้วต่อ EXP2



จ) ขั้วต่อ ET-SDP8

รูปที่ 43 แสดงขั้วต่อใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนบอร์ด CP-SPI/S8252 V2.0&CP-SPI/RD2 V2.0



Title		CP-SP18F4550V2
Size	Document Number	ETT...CO LTD
B	Rev	A
Date	Friday, March 15, 2002	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 80C51 8-bit Flash microcontroller family

## 32K/64K ISP FLASH with 512-1K RAM

# P89C51RC+/P89C51RD+

### DESCRIPTION

The 89C51RX+ devices contain a non-volatile FLASH program memory (up to 64 k bytes in the 89C51RD+) that is both parallel programmable and Serial In-System Programmable. In-System Programming allows devices to alter their own program memory, in the actual end product, under software control. This opens up a range of applications that can include the ability to field update the application firmware.

A default serial loader (boot loader) program in ROM allows In-System serial programming of the FLASH memory without the need for a loader in the FLASH code. User programs may erase and reprogram the FLASH memory at will through the use of standard routines contained in ROM.

These devices are Single-Chip 8-Bit Microcontrollers manufactured in advanced CMOS process and are derivatives of the 80C51 microcontroller family. All the devices have the same instruction set as the 80C51.

FLASH/EPROM Memory Size (X by 8)	RAM Size (X by 8)	Programmable Timer Counter (PCA)
<b>89C51RC+</b>		
32 k	512	Yes
<b>89C51RD+</b>		
64 k	1024	Yes

See P89C51RX2 data sheet for devices which do not require a 12 V programming voltage.

The devices also have four 8-bit I/O ports, three 16-bit timer/event counters, a multi-source, four-priority-level, nested interrupt structure, an enhanced UART and on-chip oscillator and timing circuits. For systems that require extra memory capability up to 64 k bytes, each can be expanded using standard TTL-compatible memories and logic.

The added features of the P89C51RX+ Family makes them even more powerful microcontrollers for applications that require pulse width modulation, high-speed I/O and up/down counting capabilities such as motor control.

### FEATURES

- 80C51 Central Processing Unit
- On-chip FLASH Program Memory with In-System Programming (ISP) capability
- Boot ROM contains low level FLASH programming routines and a default serial loader
- Speed up to 33 MHz
- Full static operation
- RAM expandable externally to 64 k bytes
- 4 level priority interrupt
- 7 interrupt sources, depending on device
- Four 8-bit I/O ports
- Full-duplex enhanced UART
  - Framing error detection
  - Automatic address recognition
- Power control modes
  - Clock can be stopped and resumed
  - Idle mode
  - Power down mode
- Programmable clock out
- Second DPTR register
- Asynchronous port reset
- Low EMI (inhibit ALE)
- Watchdog timer

### ORDERING INFORMATION

MEMORY SIZE 32 k × 8	MEMORY SIZE 64 k × 8	TEMPERATURE RANGE °C AND PACKAGE	VOLTAGE RANGE	FREQ. (MHz)	DWG. #
P89C51RC+IN	P89C51RD+IN	0 to +70, 40-Pin Plastic Dual In-line Pkg.	5 V	0 to 33	SOT129-1
P89C51RC+IA	P89C51RD+IA	0 to +70, 44-Pin Plastic Leaded Chip Carrier	5 V	0 to 33	SOT187-2
P89C51RC+IB	P89C51RD+IB	0 to +70, 44-Pin Plastic Quad Flat Pack	5 V	0 to 33	QFP44 <sup>1</sup>
P89C51RC+JN	P89C51RD+JN	-40 to +85, 40-Pin Plastic Dual In-line Pkg.	5 V	0 to 33	SOT129-1
P89C51RC+JA	P89C51RD+JA	-40 to +85, 44-Pin Plastic Leaded Chip Carrier	5 V	0 to 33	SOT187-2
P89C51RC+JB	P89C51RD+JB	-40 to +85, 44-Pin Plastic Quad Flat Pack	5 V	0 to 33	QFP44 <sup>1</sup>

#### NOTE:

1. SOT not assigned for this package outline.

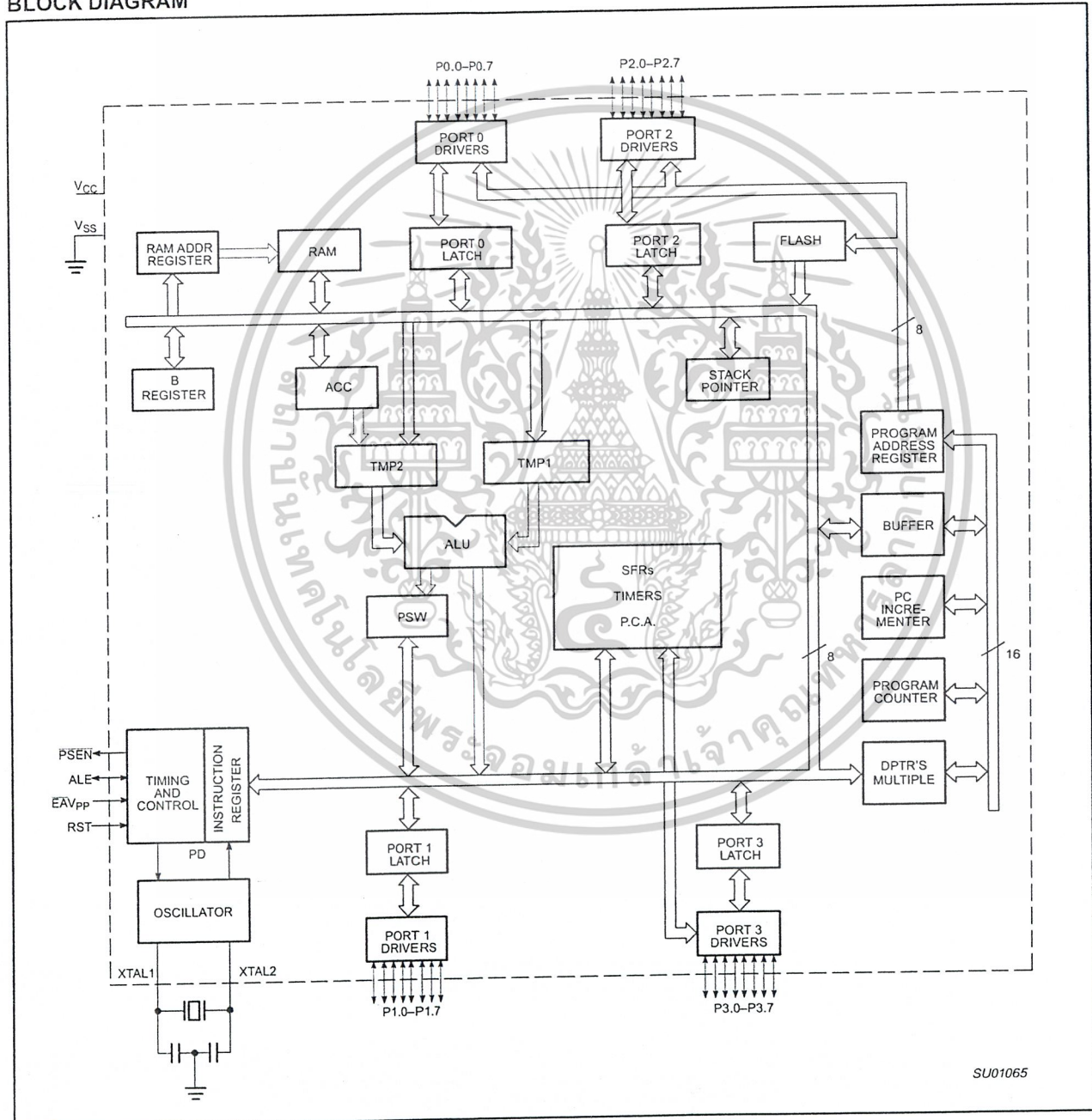
80C51 8-bit Flash microcontroller family  
32K/64K ISP FLASH with 512-1K RAM

P89C51RC+/P89C51RD+

ORDERING INFORMATION

DEVICE NUMBER (P89C51RC+)	TEMPERATURE RANGE/OPEATING FREQUENCY, MAX (I)	PACKAGE (A)
P89C51RC+ (FLASH)	I = 33 MHz, 0°C to 70°C	A = PLCC
P89C51RD+ (FLASH)	J = 33 MHz, -40°C to +85°C	B = PQFP
		N = PDIP

BLOCK DIAGRAM



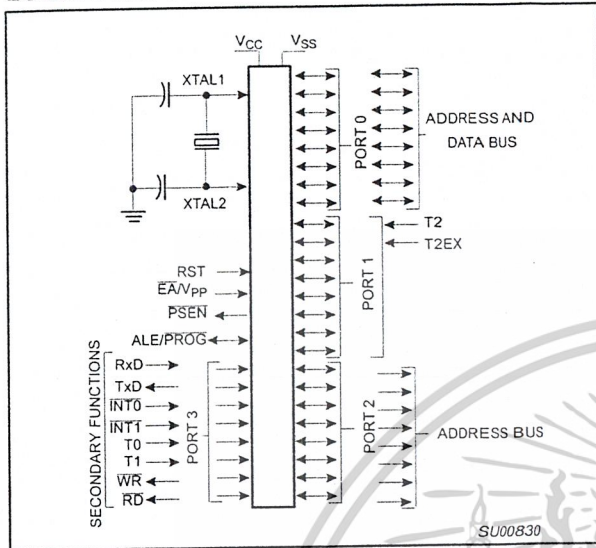
SU01065

# 80C51 8-bit Flash microcontroller family

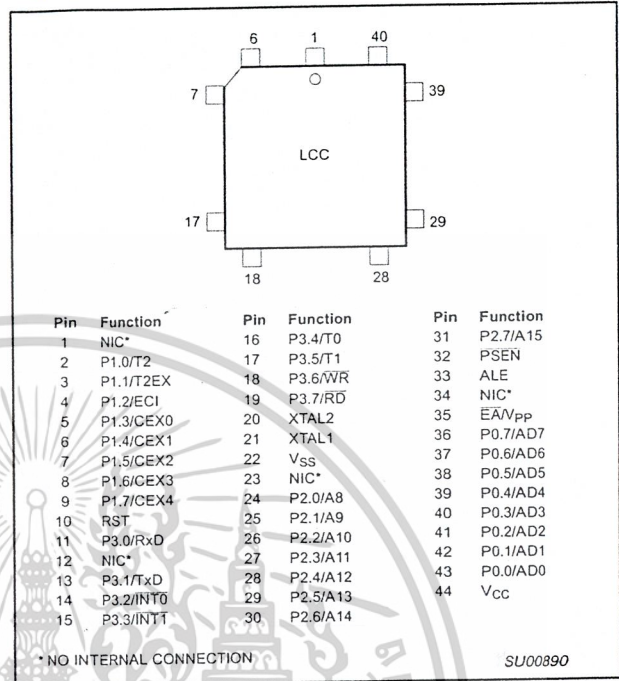
## 32K/64K ISP FLASH with 512-1K RAM

# P89C51RC+/P89C51RD+

### LOGIC SYMBOL

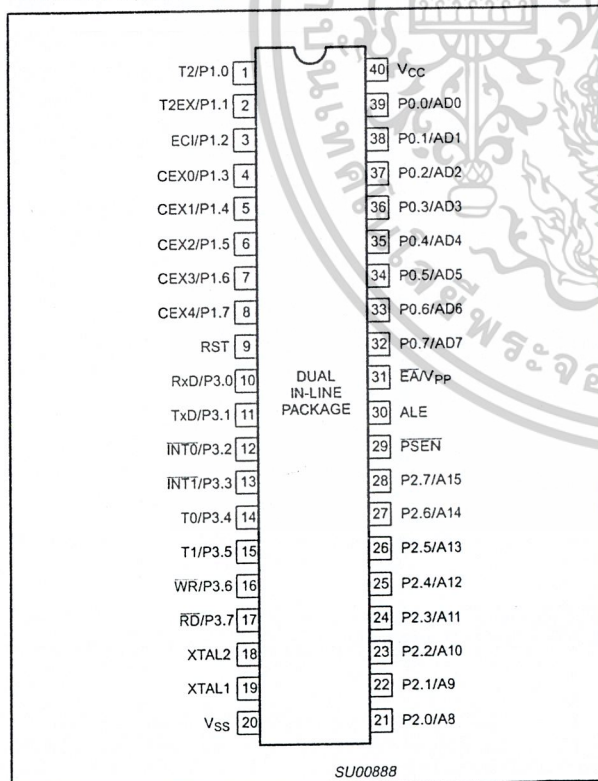


### PLASTIC LEADED CHIP CARRIER PIN FUNCTIONS

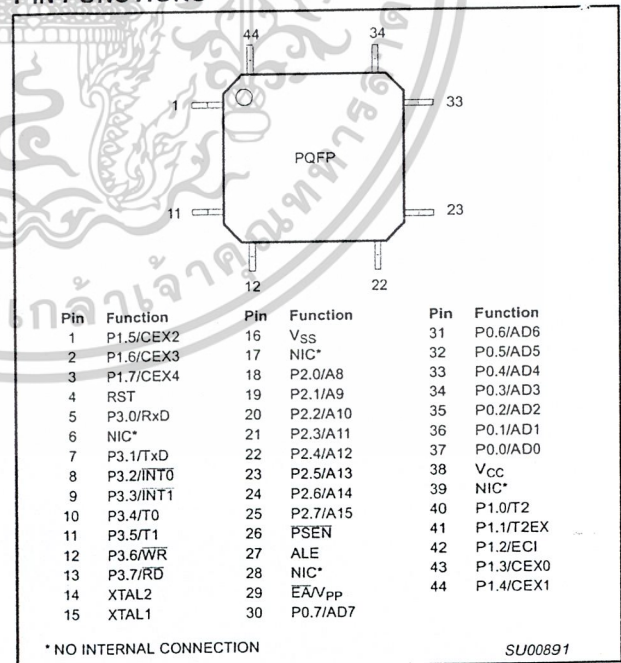


### PIN CONFIGURATIONS

#### DUAL IN-LINE PACKAGE PIN FUNCTIONS



#### PLASTIC QUAD FLAT PACK PIN FUNCTIONS



# 80C51 8-bit Flash microcontroller family

## 32K/64K ISP FLASH with 512–1K RAM

P89C51RC+/P89C51RD+

## PIN DESCRIPTIONS

MNEMONIC	PIN NUMBER			TYPE	NAME AND FUNCTION
	DIP	LCC	QFP		
V <sub>SS</sub>	20	22	16	I	<b>Ground:</b> 0 V reference.
V <sub>CC</sub>	40	44	38	I	<b>Power Supply:</b> This is the power supply voltage for normal, idle, and power-down operation.
P0.0–0.7	39–32	43–36	37–30	I/O	<b>Port 0:</b> Port 0 is an open-drain, bidirectional I/O port. Port 0 pins that have 1s written to them float and can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external program and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when emitting 1s.
P1.0–P1.7	1–8	2–9	40–44, 1–3	I/O	<b>Port 1:</b> Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 1 pins that are externally pulled low will source current because of the internal pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ).  Alternate functions for 89C51RX+ Port 1 include: <b>T2 (P1.0):</b> Timer/Counter 2 external count input/Clockout (see Programmable Clock-Out) <b>T2EX (P1.1):</b> Timer/Counter 2 Reload/Capture/Direction Control <b>ECI (P1.2):</b> External Clock Input to the PCA <b>CEX0 (P1.3):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 0 <b>CEX1 (P1.4):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 1 <b>CEX2 (P1.5):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 2 <b>CEX3 (P1.6):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 3 <b>CEX4 (P1.7):</b> Capture/Compare External I/O for PCA module 4
P2.0–P2.7	21–28	24–31	18–25	I/O	<b>Port 2:</b> Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 2 pins that are externally being pulled low will source current because of the internal pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ). Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOV @Ri), port 2 emits the contents of the P2 special function register.
P3.0–P3.7	10–17	11, 13–19	5, 7–13	I/O	<b>Port 3:</b> Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, port 3 pins that are externally being pulled low will source current because of the pull-ups. (See DC Electrical Characteristics: I <sub>IL</sub> ). Port 3 also serves the special features of the 89C51RX+ family, as listed below: <b>RxD (P3.0):</b> Serial input port <b>TxD (P3.1):</b> Serial output port <b>INT0 (P3.2):</b> External interrupt <b>INT1 (P3.3):</b> External interrupt <b>T0 (P3.4):</b> Timer 0 external input <b>T1 (P3.5):</b> Timer 1 external input <b>WR (P3.6):</b> External data memory write strobe <b>RD (P3.7):</b> External data memory read strobe
RST	9	10	4	I	<b>Reset:</b> A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running, resets the device. An internal resistor to V <sub>SS</sub> permits a power-on reset using only an external capacitor to V <sub>CC</sub> .
ALE	30	33	27	O	<b>Address Latch Enable:</b> Output pulse for latching the low byte of the address during an access to external memory. In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and can be used for external timing or clocking. Note that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory. ALE can be disabled by setting SFR auxiliary.0. With this bit set, ALE will be active only during a MOVX instruction.

# 80C51 8-bit Flash microcontroller family

## 32K/64K ISP FLASH with 512–1K RAM

P89C51RC+/P89C51RD+

## PIN DESCRIPTIONS (Continued)

MNEMONIC	PIN NUMBER			TYPE	NAME AND FUNCTION
	DIP	LCC	QFP		
PSEN	29	32	26	O	<b>Program Store Enable:</b> The read strobe to external program memory. When executing code from the external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory. PSEN is not activated during fetches from internal program memory.
E $\bar{A}$ /V <sub>PP</sub>	31	35	29	I	<b>External Access Enable/Programming Supply Voltage:</b> E $\bar{A}$ must be externally held low to enable the device to fetch code from external program memory locations 0000H and 7FFFH. If E $\bar{A}$ is held high, the device executes from internal program memory unless the program counter contains an address greater than 7FFFH for 32 k devices. The value on the E $\bar{A}$ pin is latched when RST is released and any subsequent changes have no effect. Since the RD+ has 64 k internal memory, the RD+ will execute only from internal memory when E $\bar{A}$ is held high. This pin also receives the 12.00 V programming supply voltage (V <sub>PP</sub> ) during FLASH programming.
XTAL1	19	21	15	I	<b>Crystal 1:</b> Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	20	14	O	<b>Crystal 2:</b> Output from the inverting oscillator amplifier.

**NOTE:**

To avoid "latch-up" effect at power-on, the voltage on any pin (other than V<sub>PP</sub>) at any time must not be higher than V<sub>CC</sub> + 0.5 V or V<sub>SS</sub> - 0.5 V, respectively.

## FEATURES

- **Tiny: Two 10-Bit DACs in an 8-Lead MSOP—Half the Board Space of an SO-8**
- **Micropower: 60 $\mu$ A per DAC**
- **Sleep Mode: 1 $\mu$ A for Extended Battery Life**
- **Rail-to-Rail Voltage Outputs Drive 1000pF**
- **Wide 2.7V to 5.5V Supply Range**
- **Double Buffered for Independent or Simultaneous DAC Updates**
- **Reference Range Includes Supply for Ratiometric 0V-to- $V_{CC}$  Output**
- **Reference Input Has Constant Impedance over All Codes (260k $\Omega$  Typ)—Eliminates External Buffers**
- **3-Wire Serial Interface with Schmitt Trigger Inputs**
- **Differential Nonlinearity:  $\leq \pm 0.75$ LSB Max**

## APPLICATIONS

- Mobile Communications
- Digitally Controlled Amplifiers and Attenuators
- Portable Battery-Powered Instruments
- Automatic Calibration for Manufacturing
- Remote Industrial Devices

LT, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

## DESCRIPTION

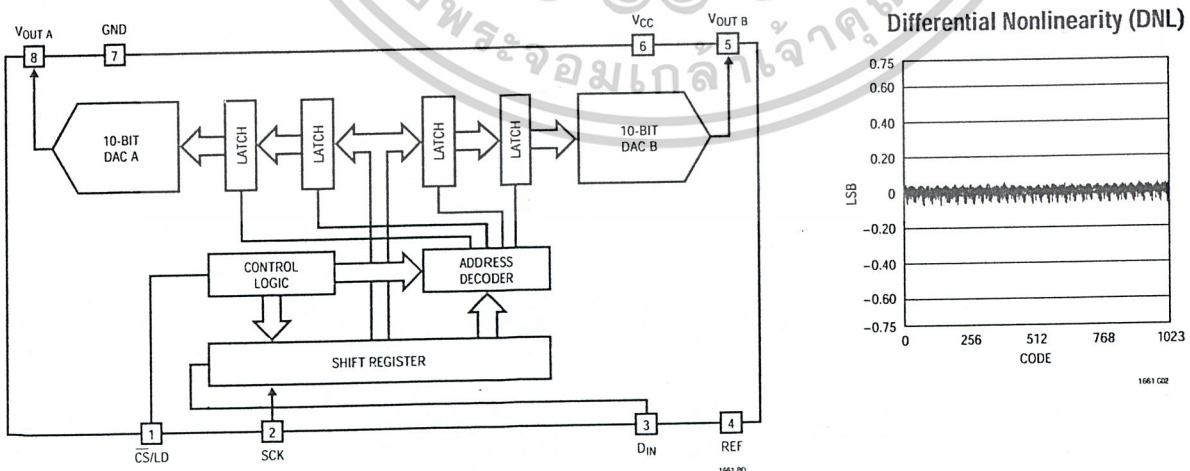
The LTC<sup>®</sup>1661 integrates two accurate, serially addressable, 10-bit digital-to-analog converters (DACs) in a single tiny MS8 package. Each buffered DAC draws just 60 $\mu$ A total supply current, yet is capable of supplying DC output currents in excess of 5mA and reliably driving capacitive loads up to 1000pF. Sleep mode further reduces total supply current to a negligible 1 $\mu$ A.

Linear Technology's proprietary, inherently monotonic voltage interpolation architecture provides excellent linearity while allowing for an exceptionally small external form factor. The double-buffered input logic provides simultaneous update capability and can be used to write to either DAC without interrupting Sleep mode.

Ultralow supply current, power-saving Sleep mode and extremely compact size make the LTC1661 ideal for battery-powered applications, while its straightforward usability, high performance and wide supply range make it an excellent choice as a general purpose converter.

For additional outputs and even greater board density, please refer to the LTC1660 micropower octal DAC for 10-bit applications. For 8-bit applications, please consult the LTC1665 micropower octal DAC.

## BLOCK DIAGRAM



# ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Note 1)

V <sub>CC</sub> to GND .....	-0.3V to 7.5V	Operating Temperature Range	
Logic Inputs to GND .....	-0.3V to 7.5V	LTC1661C .....	0°C to 70°C
V <sub>OUT A</sub> , V <sub>OUT B</sub> , REF to GND .....	-0.3V to V <sub>CC</sub> + 0.3V	LTC1661I .....	-40°C to 85°C
Maximum Junction Temperature .....	125°C	Lead Temperature (Soldering, 10 sec) .....	300°C
Storage Temperature Range .....	-65°C to 150°C		

# PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>MS8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC MSOP T<sub>JMAX</sub> = 125°C, θ<sub>JA</sub> = 150°C/W</p>	ORDER PART NUMBER	<p>N8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP T<sub>JMAX</sub> = 125°C, θ<sub>JA</sub> = 100°C/W</p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1661CMS8 LTC1661IMS8		LTC1661CN8 LTC1661IN8
	MS8 PART MARKING		
	LTDV LTDW		

Consult factory for Military grade parts.

# ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T<sub>A</sub> = 25°C. V<sub>CC</sub> = 2.7V to 5.5V, V<sub>REF</sub> ≤ V<sub>CC</sub>, V<sub>OUT</sub> Unloaded unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>Accuracy</b>						
	Resolution		●	10		Bits
	Monotonicity	1V ≤ V <sub>REF</sub> ≤ V <sub>CC</sub> - 0.1V (Note 2)	●	10		Bits
DNL	Differential Nonlinearity	1V ≤ V <sub>REF</sub> ≤ V <sub>CC</sub> - 0.1V (Note 2)	●	±0.1	±0.75	LSB
INL	Integral Nonlinearity	1V ≤ V <sub>REF</sub> ≤ V <sub>CC</sub> - 0.1V (Note 2)	●	±0.4	±2	LSB
V <sub>OS</sub>	Offset Error	Measured at Code 20	●	±5	±30	mV
	V <sub>OS</sub> Temperature Coefficient			±15		μV/°C
FSE	Full-Scale Error	V <sub>CC</sub> = 5V, V <sub>REF</sub> = 4.096V	●	±1	±12	LSB
	Full-Scale Error Temperature Coefficient			±30		μV/°C
PSR	Power Supply Rejection	V <sub>REF</sub> = 2.5V		0.18		LSB/V
<b>Reference Input</b>						
	Input Voltage Range		●	0	V <sub>CC</sub>	V
	Resistance	Active Mode	●	140	260	kΩ
	Capacitance		●		15	pF
I <sub>REF</sub>	Reference Current	Sleep Mode	●	0.001	1	μA
<b>Power Supply</b>						
V <sub>CC</sub>	Positive Supply Voltage	For Specified Performance	●	2.7	5.5	V
I <sub>CC</sub>	Supply Current	V <sub>CC</sub> = 5V (Note 3)	●	120	195	μA
		V <sub>CC</sub> = 3V (Note 3)	●	95	154	μA
		Sleep Mode (Note 3)	●	1	3	μA

TYPICAL APPLICATIONS

FOR EACH U1 AND U2

CODE A	CODE B	$\Delta V_H, \Delta V_L$
512	1023	-250mV
512	512	0
512	0	250mV

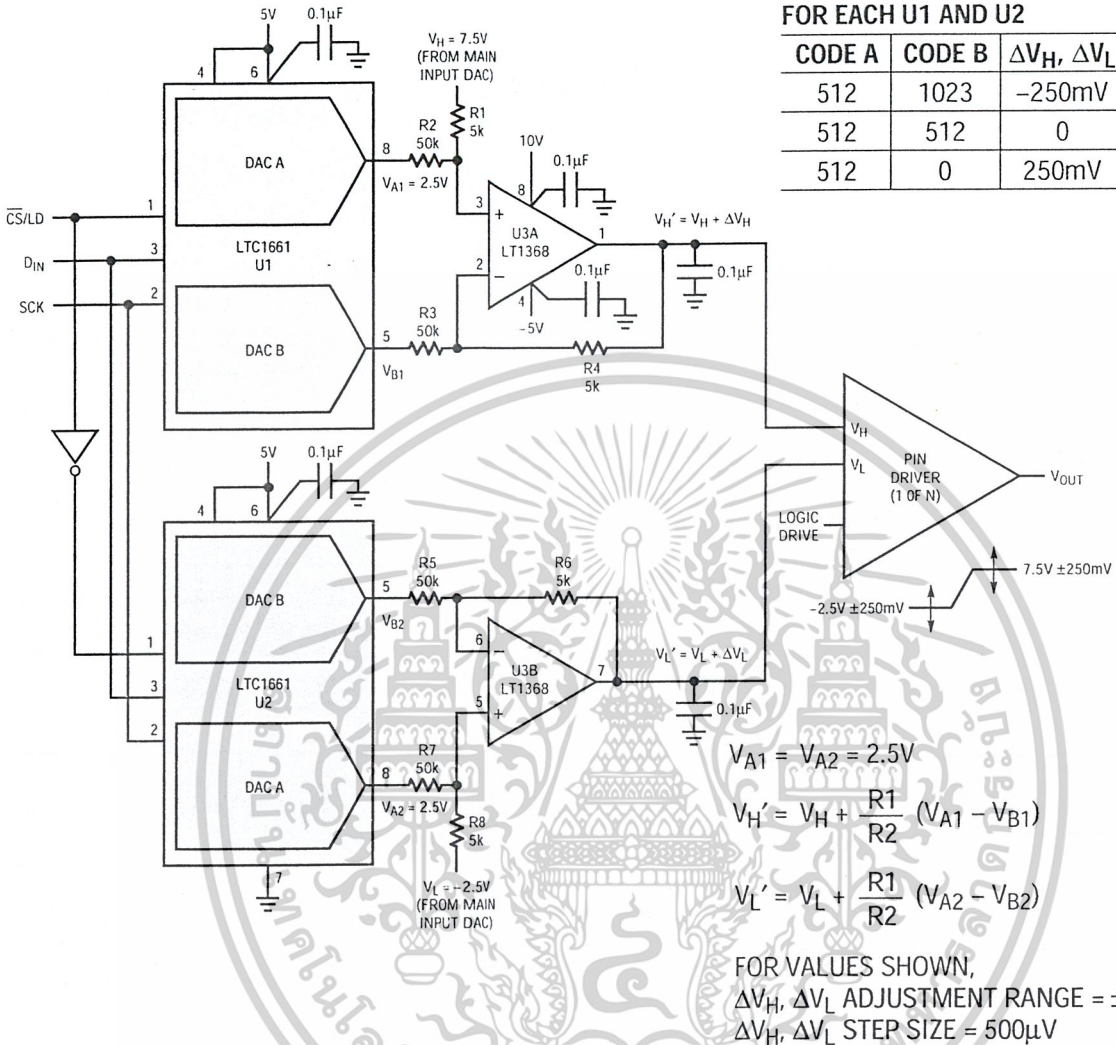


Figure 3. Pin Driver  $V_H$  and  $V_L$  Adjustment in ATE Applications

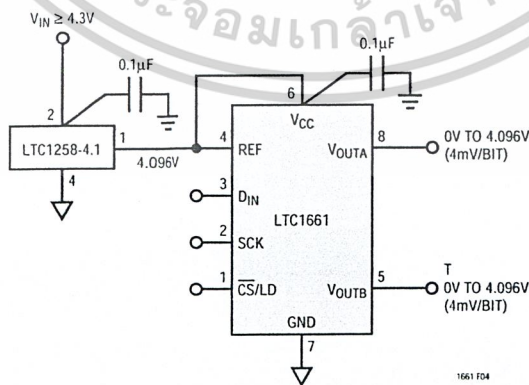
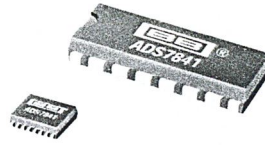


Figure 4. Using the LTC1258 and the LTC1661 In a Single Li-Ion Battery Application



# 12-Bit, 4-Channel Serial Output Sampling ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

## FEATURES

- SINGLE SUPPLY: 2.7V to 5V
- 4-CHANNEL SINGLE-ENDED OR 2-CHANNEL DIFFERENTIAL INPUT
- UP TO 200kHz CONVERSION RATE
- $\pm 1$ LSB MAX INL AND DNL
- NO MISSING CODES
- 72dB SINAD
- SERIAL INTERFACE
- DIP-16 OR SSOP-16 PACKAGE
- ALTERNATE SOURCE FOR MAX1247
- ADS7841ES: +125°C Version

## APPLICATIONS

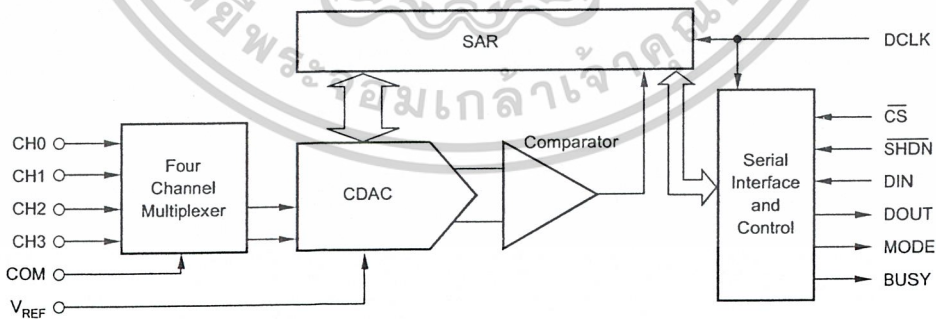
- DATA ACQUISITION
- TEST AND MEASUREMENT
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
- PERSONAL DIGITAL ASSISTANTS
- BATTERY-POWERED SYSTEMS

## DESCRIPTION

The ADS7841 is a 4-channel, 12-bit sampling Analog-to-Digital Converter (ADC) with a synchronous serial interface. The resolution is programmable to either 8 bits or 12 bits. Typical power dissipation is 2mW at a 200kHz throughput rate and a +5V supply. The reference voltage ( $V_{REF}$ ) can be varied between 100mV and  $V_{CC}$ , providing a corresponding input voltage range of 0V to  $V_{REF}$ . The device includes a shutdown mode which reduces power dissipation to under 15 $\mu$ W. The ADS7841 is tested down to 2.7V operation.

Low power, high speed, and on-board multiplexer make the ADS7841 ideal for battery-operated systems such as personal digital assistants, portable multi-channel data loggers, and measurement equipment. The serial interface also provides low-cost isolation for remote data acquisition. The ADS7841 is available in a DIP-16 or a SSOP-16 package and is specified over the  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}^{(1)}$  temperature range.

NOTE: (1) ES grade only.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 2000, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

+V <sub>CC</sub> to GND .....	-0.3V to +6V
Analog Inputs to GND .....	-0.3V to +V <sub>CC</sub> + 0.3V
Digital Inputs to GND .....	-0.3V to +6V
Power Dissipation .....	250mW
Maximum Junction Temperature .....	+150°C
Operating Temperature Range .....	-40°C to +125°C <sup>(2)</sup>
Storage Temperature Range .....	-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C

NOTES: (1) Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability. (2) ADS7841ES Only. All other grades are: -40°C to +85°C.



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

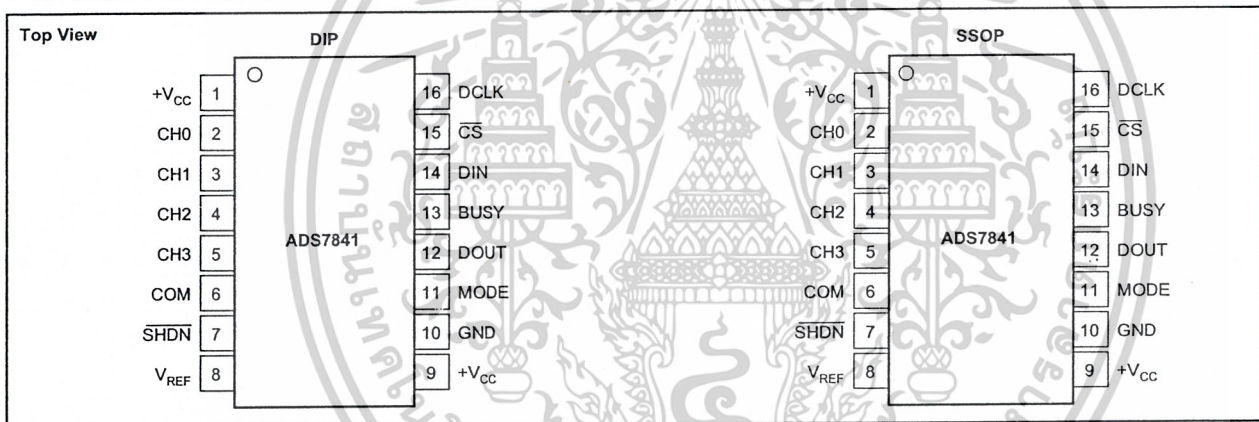
ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

PRODUCT	MINIMUM RELATIVE ACCURACY (LSB)	MAXIMUM GAIN ERROR (LSB)	SPECIFICATION TEMPERATURE RANGE	PACKAGE	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE DRAWING NUMBER	ORDERING NUMBER <sup>(1)</sup>	TRANSPORT MEDIA
ADS7841E	±2	±4	-40°C to +85°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841E	Rails
"	"	"	"	"	"	"	ADS7841E/2K5	Tape and Reel
ADS7841P	±2	"	-40°C to +85°C	DIP-16	N	180	ADS7841P	Rails
ADS7841EB	±1	±3	-40°C to +85°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841EB	Rails
"	"	"	"	"	"	"	ADS7841EB/2K5	Tape and Reel
ADS7841PB	±1	"	-40°C to +85°C	DIP-16	N	180	ADS7841PB	Rails
ADS7841ES	±2	±4	-40°C to +125°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841ES/2K5	Tape and Reel

NOTES: (1) Models with a slash (/) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (e.g., /2K5 indicates 2500 devices per reel). Ordering 2500 pieces of "ADS7841E/2K5" will get a single 2500-piece Tape and Reel.

## PIN CONFIGURATIONS



## PIN DESCRIPTIONS

PIN	NAME	DESCRIPTION
1	+V <sub>CC</sub>	Power Supply, 2.7V to 5V
2	CH0	Analog Input Channel 0
3	CH1	Analog Input Channel 1
4	CH2	Analog Input Channel 2
5	CH3	Analog Input Channel 3
6	COM	Ground Reference for Analog Inputs. Sets zero code voltage in single-ended mode. Connect this pin to ground or ground reference point.
7	SHDN	Shutdown. When LOW, the device enters a very low power shutdown mode.
8	V <sub>REF</sub>	Voltage Reference Input
9	+V <sub>CC</sub>	Power Supply, 2.7V to 5V
10	GND	Ground
11	MODE	Conversion Mode. When LOW, the device always performs a 12-bit conversion. When HIGH, the resolution is set by the MODE bit in the CONTROL byte.
12	DOUT	Serial Data Output. Data is shifted on the falling edge of DCLK. This output is high impedance when CS is HIGH.
13	BUSY	Busy Output. This output is high impedance when CS is HIGH.
14	DIN	Serial Data Input. If CS is LOW, data is latched on rising edge of DCLK.
15	CS	Chip Select Input. Controls conversion timing and enables the serial input/output register.
16	DCLK	External Clock Input. This clock runs the SAR conversion process and synchronizes serial data I/O.



**ADS7841**  
SBAS084B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THEORY OF OPERATION

The ADS7841 is a classic successive approximation register (SAR) analog-to-digital (A/D) converter. The architecture is based on capacitive redistribution which inherently includes a sample/hold function. The converter is fabricated on a 0.6µs CMOS process.

The basic operation of the ADS7841 is shown in Figure 1. The device requires an external reference and an external clock. It operates from a single supply of 2.7V to 5.25V. The external reference can be any voltage between 100mV and +V<sub>CC</sub>. The value of the reference voltage directly sets the input range of the converter. The average reference input current depends on the conversion rate of the ADS7841.

The analog input to the converter is differential and is provided via a four-channel multiplexer. The input can be provided in reference to a voltage on the COM pin (which is generally ground) or differentially by using two of the four input channels (CH0 - CH3). The particular configuration is selectable via the digital interface.

## ANALOG INPUT

Figure 2 shows a block diagram of the input multiplexer on the ADS7841. The differential input of the converter is derived from one of the four inputs in reference to the COM pin or two of the four inputs. Table I and Table II show the relationship between the A2, A1, A0, and SGL/DIF control bits and the configuration of the analog multiplexer. The control bits are provided serially via the DIN pin, see the Digital Interface section of this data sheet for more details.

When the converter enters the hold mode, the voltage difference between the +IN and -IN inputs (see Figure 2) is captured on the internal capacitor array. The voltage on the -IN input is limited between -0.2V and 1.25V, allowing the input to reject small signals which are common to both the +IN and -IN input. The +IN input has a range of -0.2V to +V<sub>CC</sub> + 0.2V.

The input current on the analog inputs depends on the conversion rate of the device. During the sample period, the source must charge the internal sampling capacitor (typically 25pF). After the capacitor has been fully charged, there is no further input current. The rate of charge transfer from the analog source to the converter is a function of conversion rate.

A2	A1	A0	CH0	CH1	CH2	CH3	COM
0	0	1	+IN				-IN
1	0	1		+IN			-IN
0	1	0			÷IN		-IN
1	1	0				+IN	-IN

TABLE I. Single-Ended Channel Selection (SGL/DIF HIGH).

A2	A1	A0	CH0	CH1	CH2	CH3	COM
0	0	1	+IN	-IN			
1	0	1	-IN	+IN			
0	1	0			+IN	-IN	
1	1	0			-IN	+IN	

TABLE II. Differential Channel Control (SGL/DIF LOW).

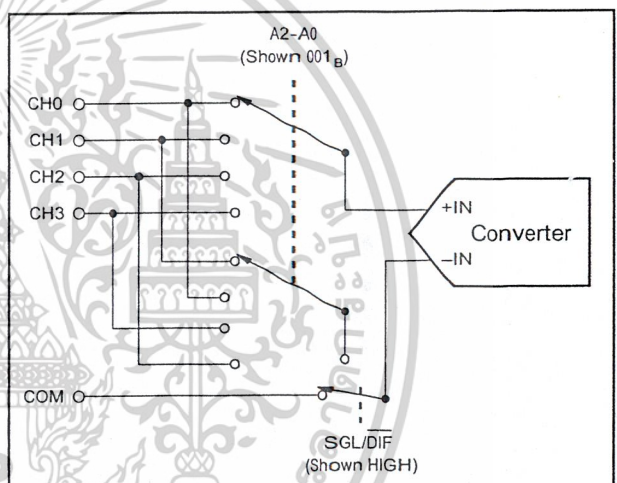


FIGURE 2. Simplified Diagram of the Analog Input.

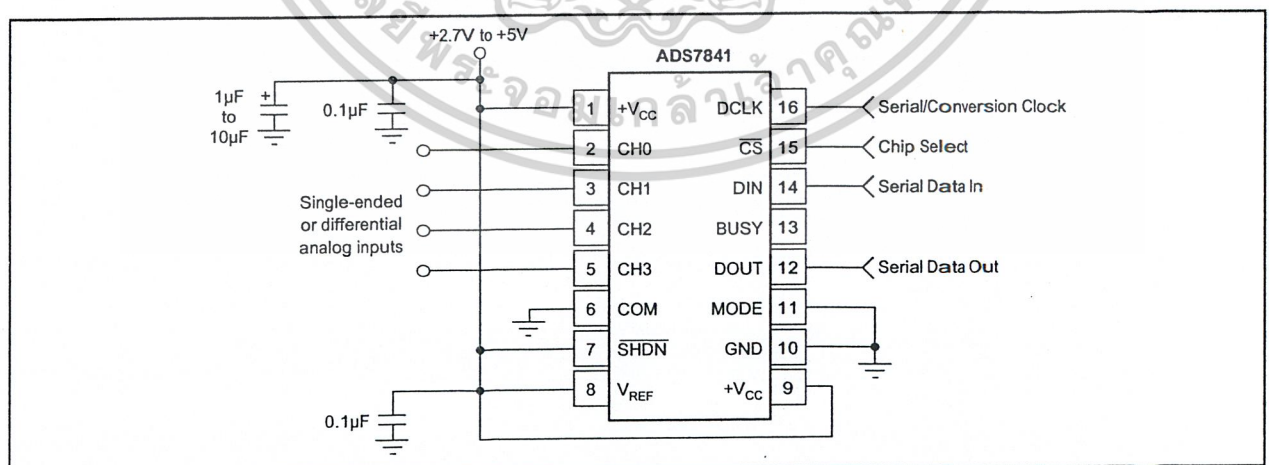


FIGURE 1. Basic Operation of the ADS7841.

# Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

## General Description

The MAX7219/MAX7221 are compact, serial input/output common-cathode display drivers that interface microprocessors ( $\mu$ Ps) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs. The MAX7221 is compatible with SPI™, QSPI™, and Microwire™, and has slew-rate-limited segment drivers to reduce EMI.

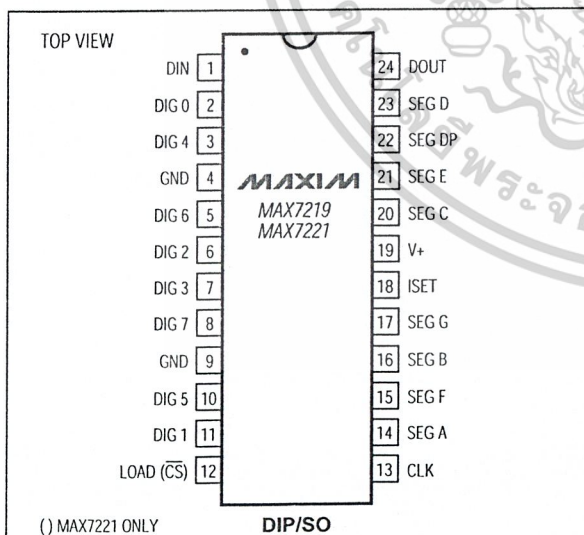
A convenient 3-wire serial interface connects to all common  $\mu$ Ps. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219/MAX7221 also allow the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

The devices include a 150 $\mu$ A low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register that allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode that forces all LEDs on.

## Applications

Bar-Graph Displays  
7-Segment Displays  
Industrial Controllers  
Panel Meters  
LED Matrix Displays

## Pin Configuration



## Features

- ◆ 10MHz Serial Interface
- ◆ Individual LED Segment Control
- ◆ Decode/No-Decode Digit Selection
- ◆ 150 $\mu$ A Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ◆ Digital and Analog Brightness Control
- ◆ Display Blanked on Power-Up
- ◆ Drive Common-Cathode LED Display
- ◆ Slew-Rate Limited Segment Drivers for Lower EMI (MAX7221)
- ◆ SPI, QSPI, Microwire Serial Interface (MAX7221)
- ◆ 24-Pin DIP and SO Packages

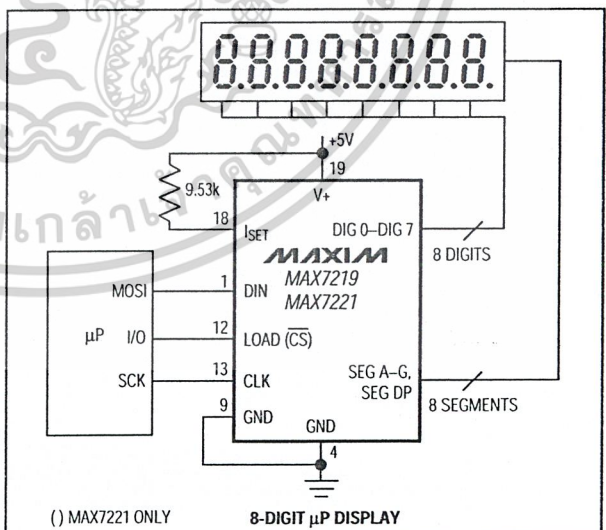
## Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

\*Dice are specified at  $T_A = +25^\circ\text{C}$ .

## Typical Application Circuit



SPI and QSPI are trademarks of Motorola Inc. Microwire is a trademark of National Semiconductor Corp.

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800.  
For small orders, phone 408-737-7600 ext. 3468.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage (with respect to GND)	
V+ .....	-0.3V to 6V
DIN, CLK, LOAD, CS .....	-0.3V to 6V
All Other Pins .....	-0.3V to (V+ + 0.3V)
Current	
DIG0-DIG7 Sink Current .....	500mA
SEGA-G, DP Source Current .....	100mA
Continuous Power Dissipation (TA = +85°C)	
Narrow Plastic DIP .....	0.87W
Wide SO .....	0.76W
Narrow CERDIP .....	1.1W

Operating Temperature Ranges	
MAX7219C_G/MAX7221C_G .....	0°C to +70°C
MAX7219E_G/MAX7221E_G .....	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range .....	-65°C to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10sec) .....	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V+ = 5V ±10%, RSET = 9.53kΩ ±1%, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage	V+		4.0		5.5	V
Shutdown Supply Current	I+	All digital inputs at V+ or GND, TA = +25°C			150	μA
Operating Supply Current	I+	RSET = open circuit			8	mA
		All segments and decimal point on, ISEG_ = -40mA		330		
Display Scan Rate	fOSC	8 digits scanned	500	800	1300	Hz
Digit Drive Sink Current	IDIGIT	V+ = 5V, VOUT = 0.65V	320			mA
Segment Drive Source Current	ISEG	TA = +25°C, V+ = 5V, VOUT = (V+ - 1V)	-30	-40	-45	mA
Segment Current Slew Rate (MAX7221 only)	ΔISEG/Δt	TA = +25°C, V+ = 5V, VOUT = (V+ - 1V)	10	20	50	mA/μs
Segment Drive Current Matching	ΔISEG			3.0		%
Digit Drive Leakage (MAX7221 only)	IDIGIT	Digit off, VDIGIT = V+			-10	μA
Segment Drive Leakage (MAX7221 only)	ISEG	Segment off, VSEG = 0V			1	μA
Digit Drive Source Current (MAX7219 only)	IDIGIT	Digit off, VDIGIT = (V+ - 0.3V)	-2			mA
Segment Drive Sink Current (MAX7219 only)	ISEG	Segment off, VSEG = 0.3V	5			mA

# Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7221/MAX7221

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V+ = 5V ±10%, RSET = 9.53kΩ ±1%, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>LOGIC INPUTS</b>						
Input Current DIN, CLK, LOAD, $\overline{CS}$	I <sub>IH</sub> , I <sub>IL</sub>	V <sub>IN</sub> = 0V or V+	-1		1	μA
Logic High Input Voltage	V <sub>IH</sub>		3.5			V
Logic Low Input Voltage	V <sub>IL</sub>				0.8	V
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	DOUT, I <sub>SOURCE</sub> = -1mA	V+ - 1			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	DOUT, I <sub>SINK</sub> = 1.6mA			0.4	V
Hysteresis Voltage	ΔV <sub>I</sub>	DIN, CLK, LOAD, $\overline{CS}$		1		V
<b>TIMING CHARACTERISTICS</b>						
CLK Clock Period	t <sub>CP</sub>		100			ns
CLK Pulse Width High	t <sub>CH</sub>		50			ns
CLK Pulse Width Low	t <sub>CL</sub>		50			ns
$\overline{CS}$ Fall to SCLK Rise Setup Time (MAX7221 only)	t <sub>CSS</sub>		25			ns
CLK Rise to $\overline{CS}$ or LOAD Rise Hold Time	t <sub>CSH</sub>		0			ns
DIN Setup Time	t <sub>DS</sub>		25			ns
DIN Hold Time	t <sub>DH</sub>		0			ns
Output Data Propagation Delay	t <sub>DO</sub>	C <sub>LOAD</sub> = 50pF			25	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge (MAX7219 only)	t <sub>LDCK</sub>		50			ns
Minimum $\overline{CS}$ or LOAD Pulse High	t <sub>C<sub>SW</sub></sub>		50			ns
Data-to-Segment Delay	t <sub>DSPD</sub>				2.25	ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



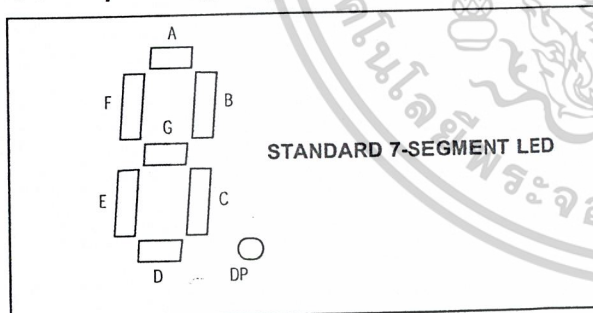
# Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Table 5. Code B Font

7-SEGMENT CHARACTER	REGISTER DATA						ON SEGMENTS = 1							
	D7*	D6-D4	D3	D2	D1	D0	DP*	A	B	C	D	E	F	G
0		X	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0
1		X	0	0	0	1		0	1	1	0	0	0	0
2		X	0	0	1	0		1	1	0	1	1	0	1
3		X	0	0	1	1		1	1	1	1	0	0	1
4		X	0	1	0	0		0	1	1	0	0	1	1
5		X	0	1	0	1		1	0	1	1	0	1	1
6		X	0	1	1	0		1	0	1	1	1	1	1
7		X	0	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0
8		X	1	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1
9		X	1	0	0	1		1	1	1	1	0	1	1
—		X	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	1
E		X	1	0	1	1		1	0	0	1	1	1	1
H		X	1	1	0	0		0	1	1	0	1	1	1
L		X	1	1	0	1		0	0	0	1	1	1	0
P		X	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	1
blank		X	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0

\*The decimal point is set by bit D7 = 1

Table 6. No-Decode Mode Data Bits and Corresponding Segment Lines



	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Corresponding Segment Line	DP	A	B	C	D	E	F	G

## Intensity Control and Interdigit Blanking

The MAX7219/MAX7221 allow display brightness to be controlled with an external resistor (RSET) connected between V+ and ISET. The peak current sourced from the segment drivers is nominally 100 times the current entering ISET. This resistor can either be fixed or variable to allow brightness adjustment from the front panel. Its minimum value should be 9.53Ω, which typically sets the segment current at 40mA. Display brightness can also be controlled digitally by using the intensity register.

Digital control of display brightness is provided by an internal pulse-width modulator, which is controlled by the lower nibble of the intensity register. The modulator scales the average segment current in 16 steps from a maximum of 31/32 down to 1/32 of the peak current set by RSET (15/16 to 1/16 on MAX7221). Table 7 lists the intensity register format. The minimum interdigit blanking time is set to 1/32 of a cycle.



# Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

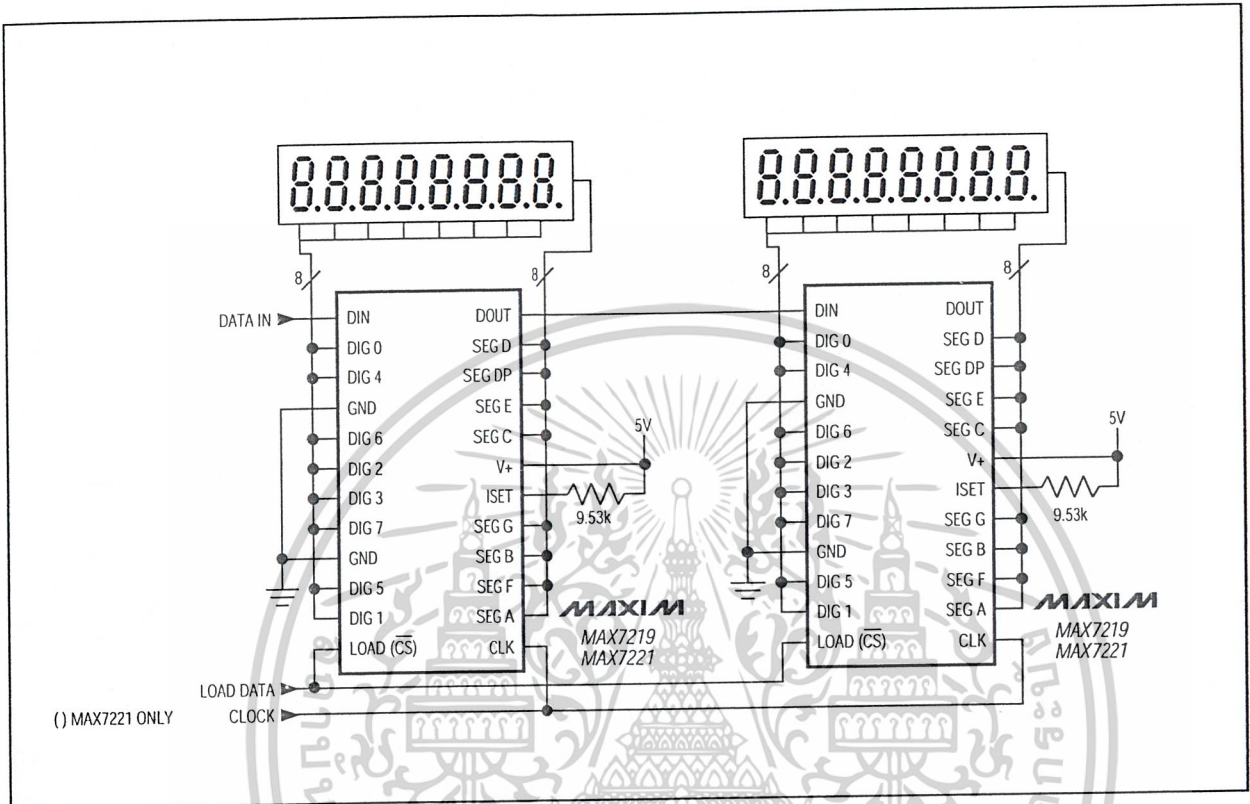
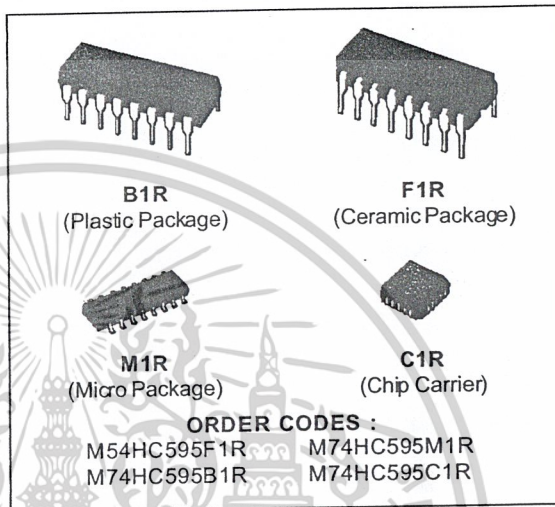


Figure 3. Cascading MAX7219/MAX7221s to Drive 16 7-Segment LED Digits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**8 BIT SHIFT REGISTER WITH OUTPUT LATCHES (3 STATE)**

- HIGH SPEED  
f<sub>MAX</sub> = 55 MHz (TYP.) AT V<sub>CC</sub> = 5 V
- LOW POWER DISSIPATION  
I<sub>CC</sub> = 4 µA (MAX.) AT T<sub>A</sub> = 25 °C
- HIGH NOISE IMMUNITY  
V<sub>NIH</sub> = V<sub>NIL</sub> = 28 % V<sub>CC</sub> (MIN.)
- OUTPUT DRIVE CAPABILITY  
15 LSTTL LOADS FOR QA TO QH  
10 LSTTL LOADS FOR QH'
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE  
|I<sub>OH</sub>| = I<sub>OL</sub> = 6 mA (MIN.) FOR QA TO QH  
|I<sub>OH</sub>| = I<sub>OL</sub> = 4 mA (MIN.) FOR QH'
- BALANCED PROPAGATION DELAYS  
t<sub>PLH</sub> = t<sub>PHL</sub>
- WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE  
V<sub>CC</sub> (OPR) = 2 V TO 6 V
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH LSTTL 54/74LS595

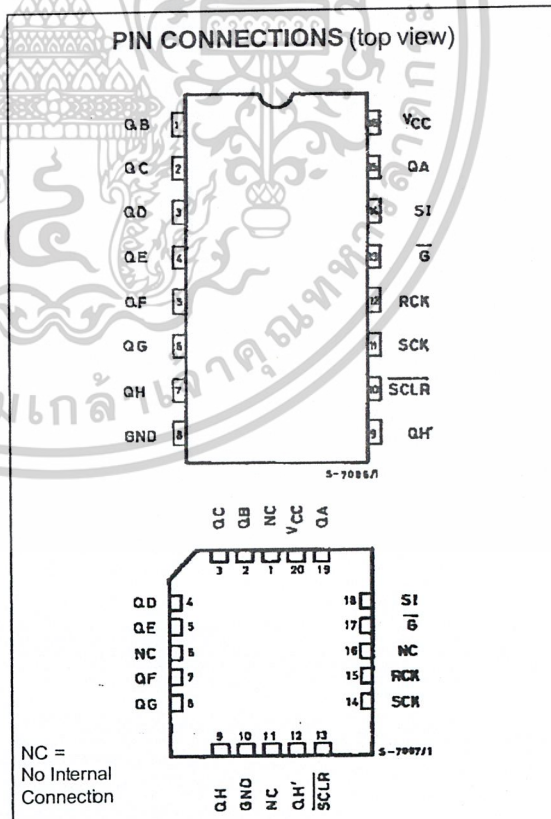


**DESCRIPTION**

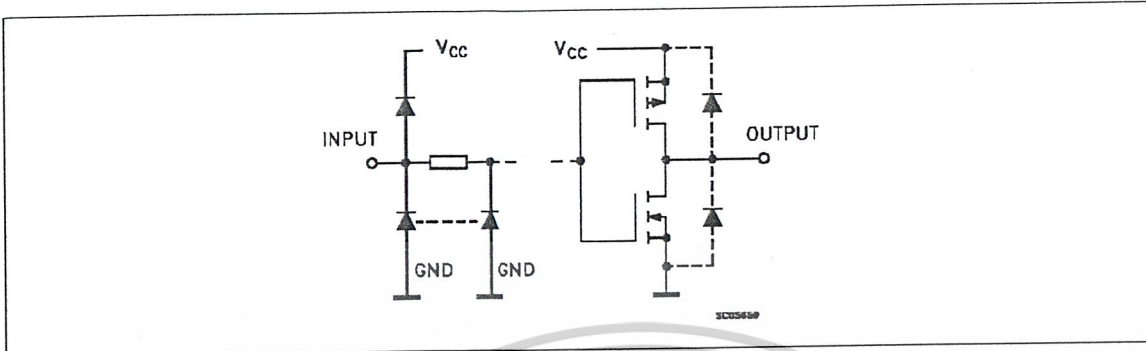
The M54/74HC595 is a high speed CMOS 8-BIT SHIFT REGISTERS/OUTPUT LATCHES (3-STATE) fabricated in silicon C<sup>2</sup>MOS technology. It has the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low power consumption. This device contains an 8-bit serial-in, parallel-out shift register that feeds an 8-bit D-type storage register. The storage register has 8 3-STATE outputs. Separate clocks are provided for both the shift register and the storage register.

The shift register has a direct-overriding clear, serial input, and serial output (standard) pins for cascading. Both the shift register and storage register use positive-edge triggered clocks. If both clocks are connected together, the shift register state will always be one clock pulse ahead of the storage register.

All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.



INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT

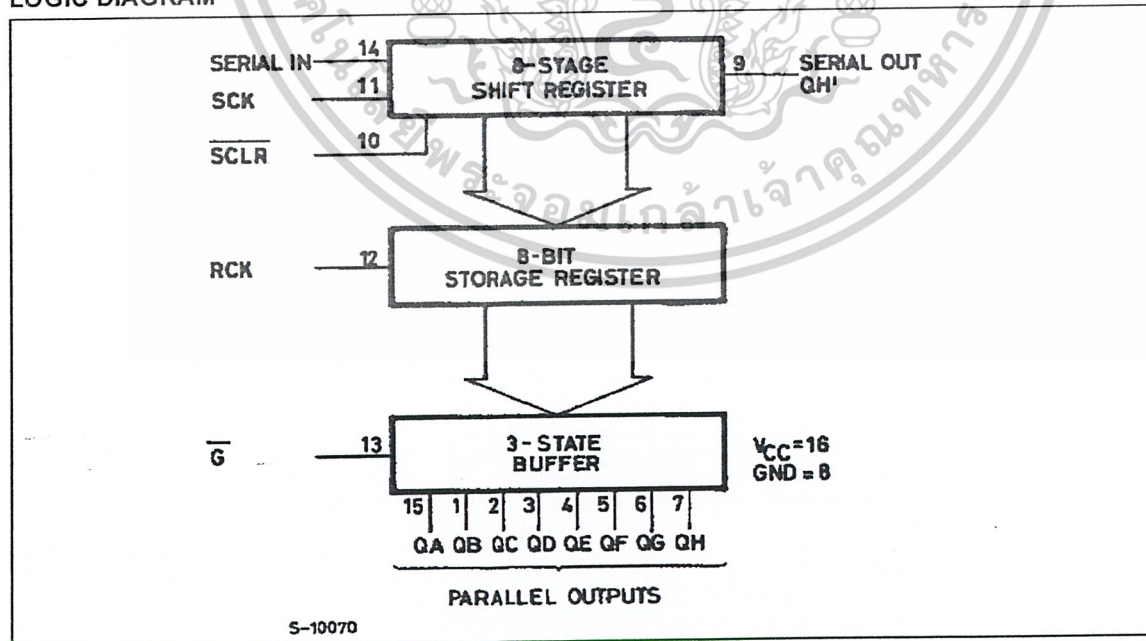


TRUTH TABLE

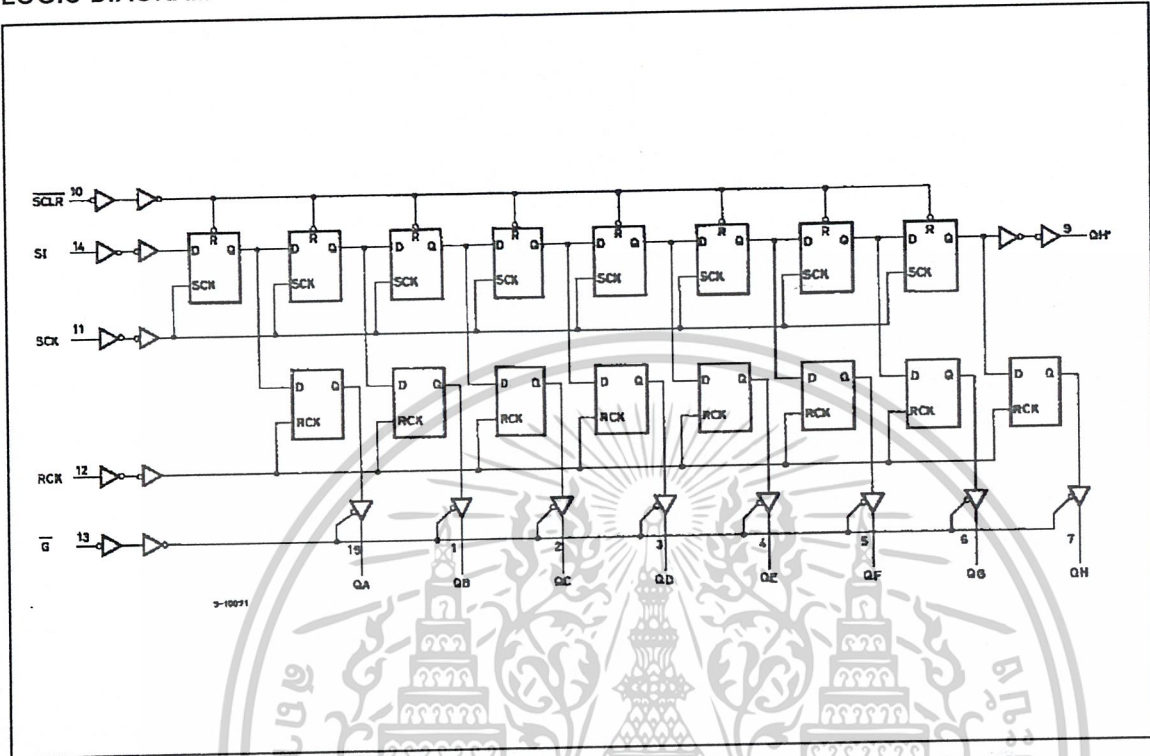
INPUTS					OUTPUT
SI	SCK	SCLR	RCK	$\bar{G}$	
X	X	X	X	H	QA THRU QH OUTPUTS DISABLE
X	X	X	X	L	QA THRU QH OUTPUTS ENABLE
X	X	L	X	X	SHIFT REGISTER IS CLEARED
L		H	X	X	FIRST STAGE OF S.R. BECOMES "L" OTHER STAGES STORE THE DATA OF PREVIOUS STAGE, RESPECTIVELY
H		H	X	X	FIRST STAGE OF S.R. BECOMES "H" OTHER STAGES STORE THE DATA OF PREVIOUS STAGE, RESPECTIVELY
X		H	X	X	STATE OF S.R IS NOT CHANGED
X	X	X		X	S.R. DATA IS STORED INTO STORAGE REGISTER
X	X	X		X	STORAGE REGISTER STATE IS NOT CHANGED

X: DONT CARE

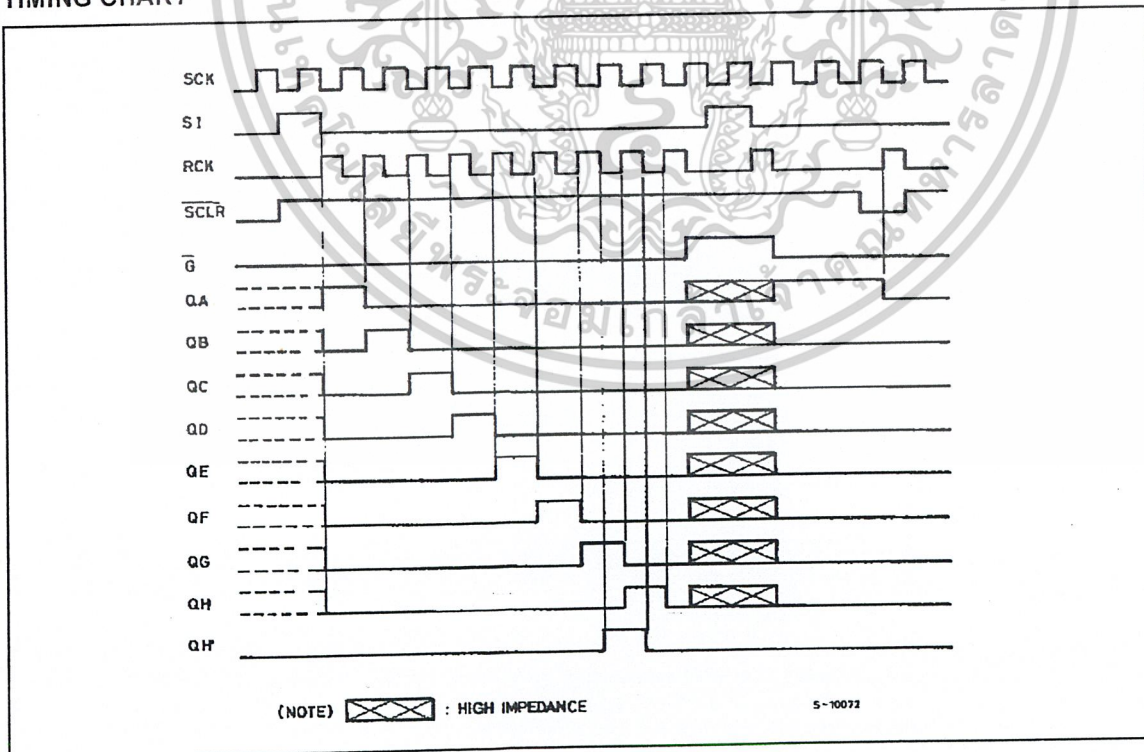
LOGIC DIAGRAM



LOGIC DIAGRAM



TIMING CHART

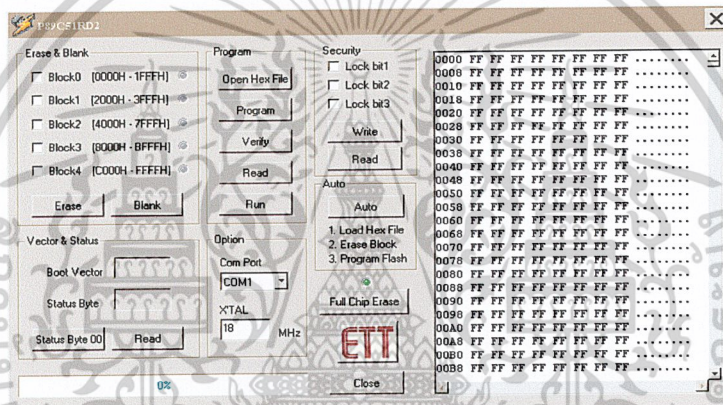


## การใช้งานโปรแกรม DOWNLOAD สำหรับบอร์ด CP-SPI/RD2 V1,V2,V3

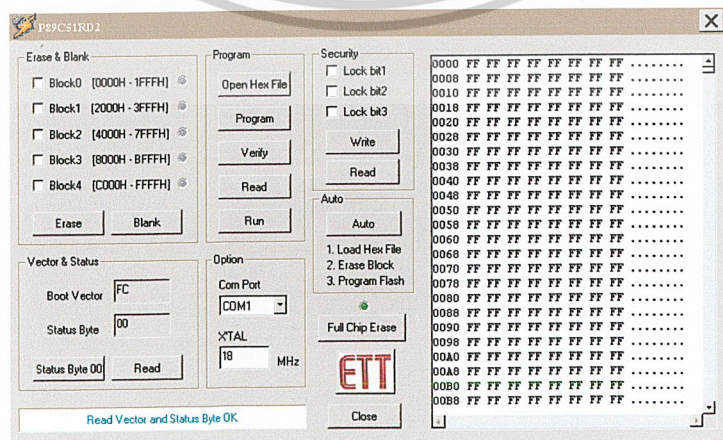
การ Download Program สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การ Download Program ทีละลำดับขั้นตอน และ การDownload Program แบบ Auto

### การ Download Program ทีละลำดับขั้นตอน

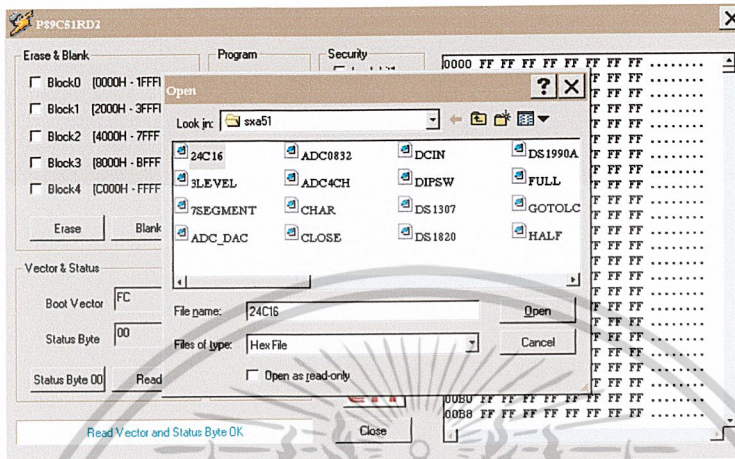
1. ทำการ Copy โปรแกรม P89C51RD2 จากแผ่นโปรแกรม ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ทำการเชื่อมต่อวงจรเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการใช้งาน ด้วยการต่อสาย SPI/RD2 (โดยขั้ว 9 PIN ต่อเข้ากับ Com Port ของคอมพิวเตอร์ และขั้ว 5 PIN ต่อเข้ากับบอร์ด CP-SPI/RD2) ดังรูป พร้อมต่อ Power Supply เข้ายังตัวบอร์ด จากนั้น RUN โปรแกรม P89C51RD2 ซึ่งจะได้หน้าต่างแสดงดังรูป



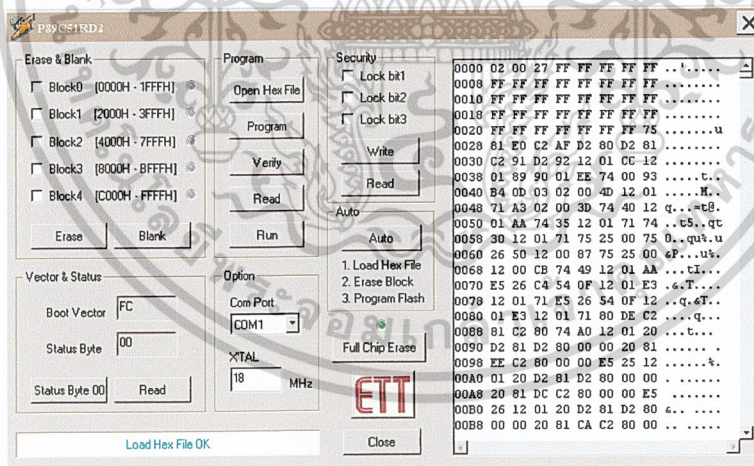
3. เลือก Com Port ในส่วนของ Option ให้ตรงกับ Com Port ที่เชื่อมต่อบนเครื่อง PC ในที่นี้ทำการเชื่อมต่อกับ Com1 ของ PC และป้อนค่า xtal ตามค่าที่ใช้งานจริงดังตัวอย่างคือใช้ค่า Xtal เท่ากับ 18.432 MHz (หรือใช้ 18 ค่าเดิมที่ปรากฏอยู่เลยก็ได้)
4. ใช้เมาส์คลิกที่ Read ในส่วนของ Vector&Status เพื่อตรวจสอบค่า Status Byte จะต้องเป็นซึ่ง จะปรากฏหน้าต่างการทำงานดังรูป โดย BOOT VECTOR=FC , STATUS BYRE=00



5. การเปิดไฟล์ .HEX ที่ต้องการโหลดลงใน CPU สามารถทำได้ในส่วนของ Program โดยใช้เมาส์คลิกที่ Open Hex File ซึ่งจะได้อีกในรูปแบบในตัวอย่างเป็นการโหลดไฟล์ชื่อ 24C16.HEX เมื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการได้แล้ว ใช้เมาส์คลิกที่ OK



จากนั้นจะสามารถดู CODE ที่เป็น HEX ได้จากหน้าต่างทางด้านขวาสุด และเมื่อทำการเลือกไฟล์โปรแกรมเสร็จสิ้นแล้วจะปรากฏข้อความในส่วนของ Display ด้านล่าง



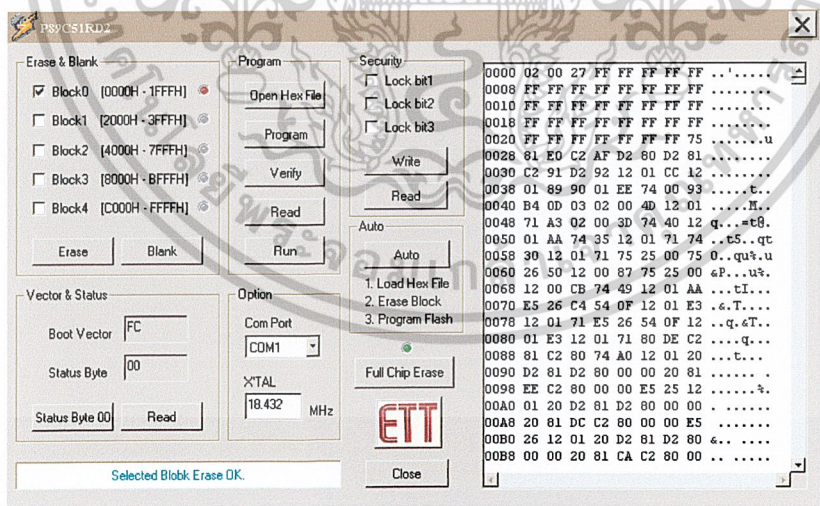
6. โปรแกรมข้อมูลจะปรากฏอยู่บนหน้าต่างของ Buffer ทางขวามือ

```

0000 02 00 27 FF FF FF FF FF ..'.....
0008 FF FF FF FF FF FF FF FF .....
0010 FF FF FF FF FF FF FF FF .....
0018 FF FF FF FF FF FF FF FF .....
0020 FF FF FF FF FF FF FF 75 .....u
0028 81 E0 C2 AF D2 80 D2 81 .....
0030 C2 91 D2 92 12 01 CC 12 .....
0038 01 89 90 01 EE 74 00 93 .....t..
0040 B4 0D 03 02 00 4D 12 01 .....M..
0048 71 A3 02 00 3D 74 40 12 q...=t8.
0050 01 AA 74 35 12 01 71 74 ..t5..qt
0058 30 12 01 71 75 25 00 75 0..quจ.ุ
0060 26 50 12 00 87 75 25 00 6P...นจ.
0068 12 00 CB 74 49 12 01 AA ...tI...
0070 E5 26 C4 54 0F 12 01 E3 ..&t...
0078 12 01 71 E5 26 54 0F 12 ..&t...
0080 01 E3 12 01 71 80 DE C2 ...q...
0088 81 C2 80 74 A0 12 01 20 ...t...
0090 D2 81 D2 80 00 00 20 81 .....
0098 EE C2 80 00 00 E5 25 12 .....จ.
00A0 01 20 D2 81 D2 80 00 00 .....
00A8 20 81 DC C2 80 00 00 E5 .....
00B0 26 12 01 20 D2 81 D2 80 &...
00B8 00 00 20 81 CA C2 80 00 .. ....
    
```

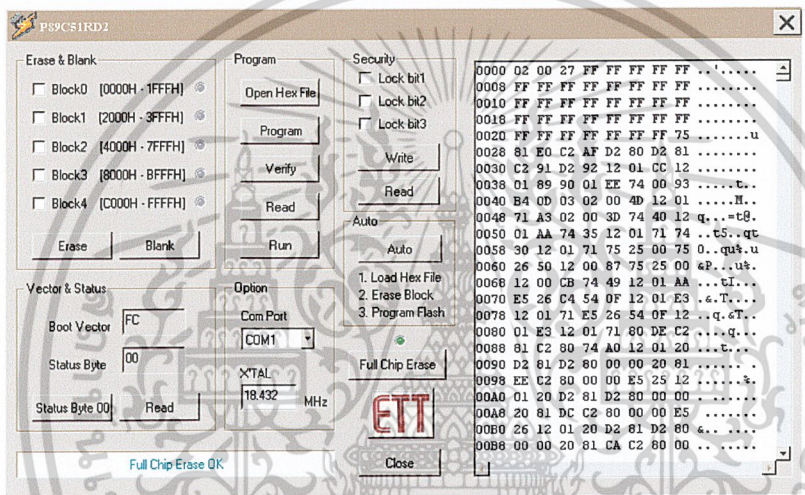
7. ทำการลบข้อมูลเก่าใน CPU ออก ซึ่งสามารถทำได้ในส่วนของ Erase&Blank โดยใช้เมาส์คลิกเลือก Block ที่ต้องการจะลบ (ถ้าโปรแกรมที่ทำการ Download มา มีค่า Address อยู่ใน ช่วง 0000H-1FFFFH ให้ทำการเลือกลบข้อมูลเก่าในส่วนของ Block0 ก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าหากโปรแกรมที่ Download มี Address จาก 0000H-3FFFFH ให้ทำการคลิกเมาส์เพื่อเลือกลบที่ Block0 และ Block1 ก็เพียงพอ)

8. จากนั้นคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Erase วิธีการ Erase แบบนี้ของ P89C51RD2 เป็นการลบข้อมูลเก่าเป็น Block เมื่อทำการลบเสร็จจะปรากฏข้อความตาม Display ด้านล่าง

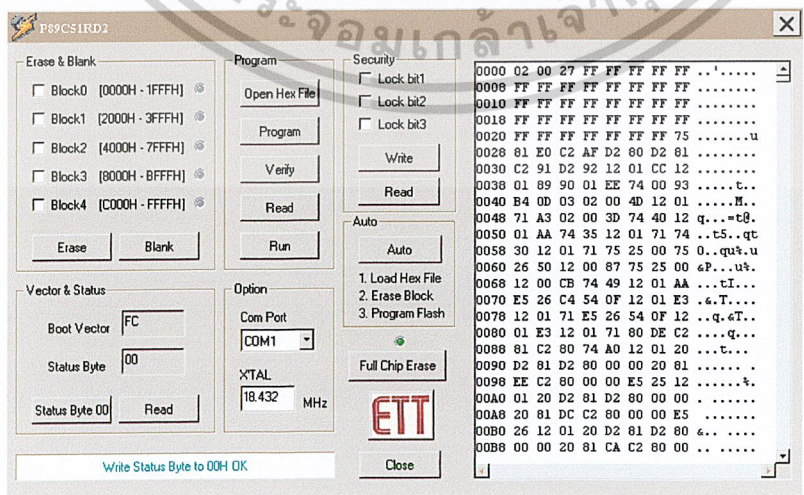


**หมายเหตุ** วิธีการลบข้อมูลเก่าใน CPU สามารถทำได้ 2 วิธี คือการลบทีละ Block (ตามข้อ 8) และอีกวิธีหนึ่งคือ การลบข้อมูลทั้งหมดใน CPU คือ การ Full Chip Erase แต่วิธีการลบแบบ Full Chip Erase ทำให้ Status Byte ถูกแก้ไขจาก 00 เป็น FF จึงทำให้ต้องคลิกเมาส์ที่ Status Byte 00 เพื่อทำการแก้ไขค่า Status Byte เป็น 00 และผลที่เกิดจากการ Full Chip Erase อีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ้าผู้ใช้มีการ Lock Bit ในส่วนของ Security เอาไว้ เมื่อเราทำการ Full Chip Erase ก็จะทำให้การ Lock Bit ถูกยกเลิกออกไปด้วย

การลบข้อมูลเก่าด้วยวิธี Full Chip Erase ทำได้โดยการคลิกเมาส์ที่ ปุ่ม Full Chip Erase ไฟสีเขียวจะกระพริบ จนหยุดกระพริบ ซึ่งจะปรากฏตามหน้าต่างการทำงานดังรูป

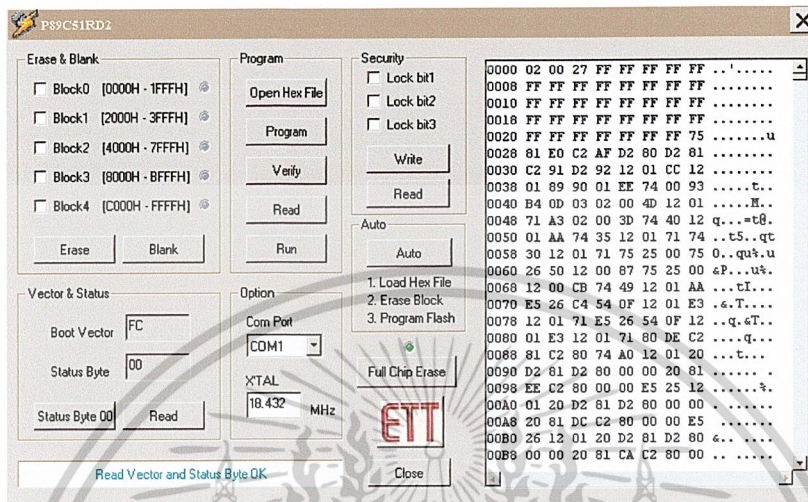


จากนั้น ให้ทำการคลิกเมาส์ที่ Status Byte 00 (เป็นการทำให้ค่า Status Byte เป็น 00) จะปรากฏข้อความที่จอ Display ตามหน้าต่างการทำงาน ดังรูป

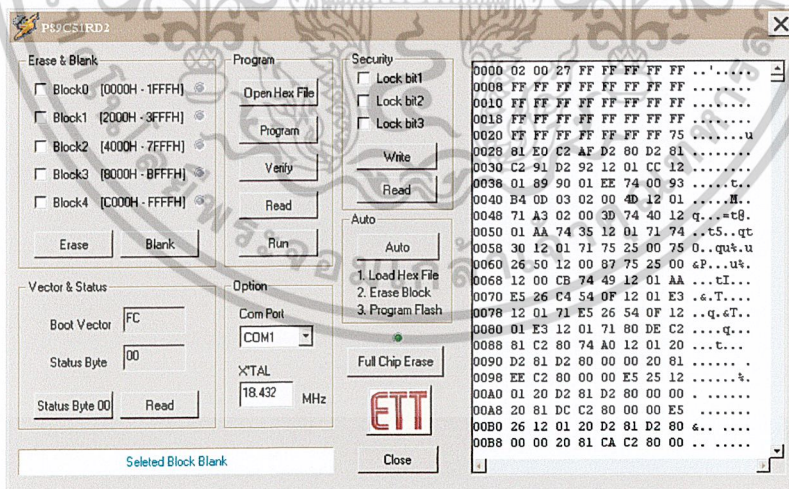


ทำการอ่านค่า Status Byte ใหม่ โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Read ในส่วนของ Vector&Status

ค่า Status จะกลับไปเป็นค่า 00 เหมือนเดิม ปรากฏตามหน้าต่างการทำงานดังรูป

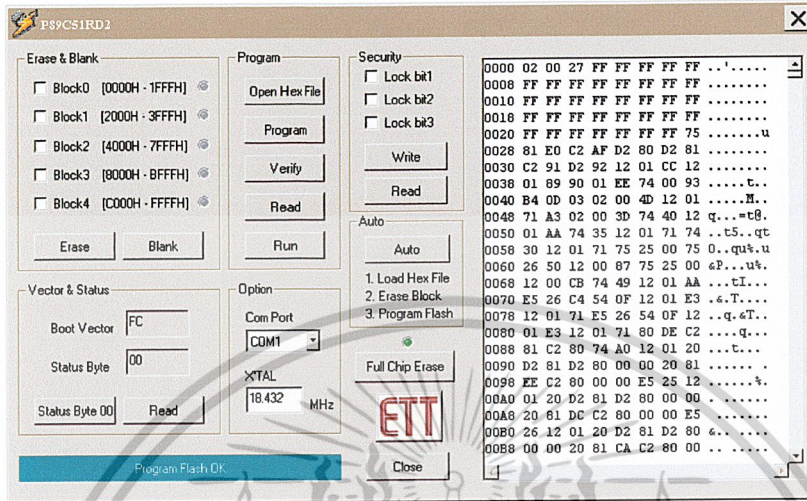


เมื่อเราทำการลบข้อมูลภายใน CPU โดยการใช่วิธี Erase อย่างไม่อย่างหนึ่งแล้ว สามารถทำการตรวจสอบได้ว่าข้อมูลภายใน CPU ถูกลบออกไปแล้วจริงๆ โดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Blank ในส่วนของ Erase & Blank ซึ่งถ้าข้อมูลถูกลบออกแล้วจริงจะปรากฏหน้าต่างการทำงานดังรูป

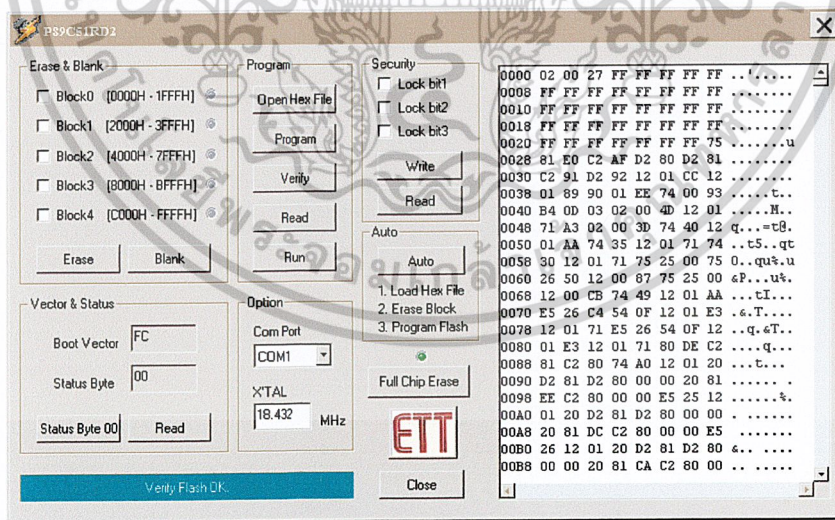


9. ใช้เมาส์คลิกที่ปุ่ม Program เป็นการส่งโปรแกรมข้อมูลจาก Buffer มวลลงใน CPU ซึ่งโปรแกรมจะนำข้อมูลใน Buffer ของหน้าต่าง Buffer ลงในหน่วยความจำของ CPU ตาม

ตำแหน่งที่อยู่ใน Buffer เมื่อส่งโปรแกรมลง CPU เสร็จสมบูรณ์แล้วจะปรากฏข้อความที่ Display ด้านล่าง



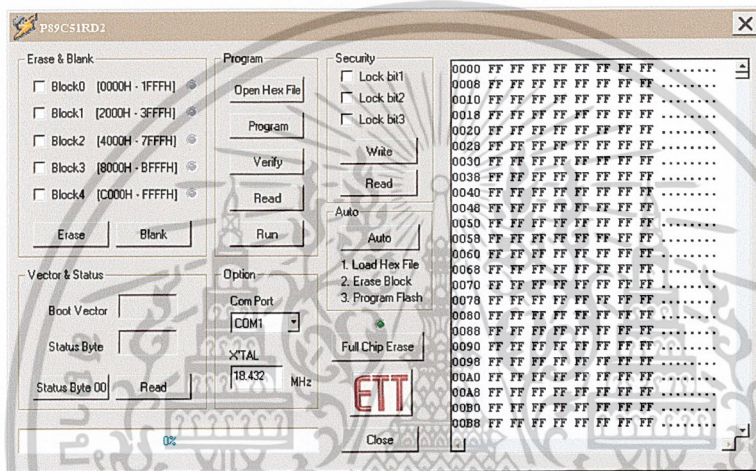
10. หากต้องการตรวจสอบว่า ข้อมูลโปรแกรมที่ไหลจาก Buffer กับ โปรแกรมภายใน CPU ตรงกันหรือไม่ให้ทำการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Verify ถ้าหากโปรแกรมของทั้ง 2 ส่วนตรงกันจะปรากฏข้อความตาม Display ด้านล่าง



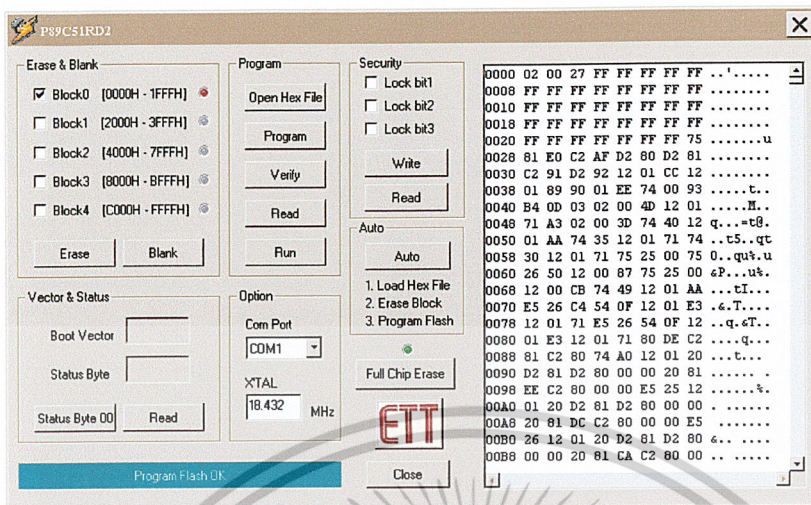
11. ทำการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Run เพื่อดูผลการทำงานของ โปรแกรม

**ขั้นตอนการ Download โดยวิธีการ Auto**

1. ทำการ Copy โปรแกรม P89C51RD2 จากแผ่น โปรแกรม ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ทำการเชื่อมต่อวงจรเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการใช้งาน ด้วยการต่อสาย SPI/RD2 (โดยขั้ว 9 PIN ต่อเข้ากับ Com Port ของคอมพิวเตอร์ และขั้ว 5 PIN ต่อเข้ากับบอร์ด CP-SPI/RD2) ดังรูป พร้อมต่อ Power Supply เข้ายังตัวบอร์ด จากนั้น RUN โปรแกรม P89C51RD2 ซึ่งจะได้หน้าต่างแสดงดังรูป



3. เลือก Com Port ในส่วนของ Option ให้ตรงกับ Com Port ที่เชื่อมต่อบนเครื่อง PC ในที่นี้ทำการเชื่อมต่อกับ Com1 ของ PC และป้อนค่า xtal ตามค่าที่ใช้งานจริงดังตัวอย่างคือใส่ค่า Xtal เท่ากับ 18.432 MHz
4. ทำการเปิดไฟล์โปรแกรม โดยคลิกเมาส์ที่ Open Hex File จะปรากฏหน้าต่างให้ทำการเลือกไฟล์ (หากเราไม่ได้ทำการ Open Hex File ใหม่ โปรแกรมจะจำไฟล์ล่าสุดที่เรียกเปิดใช้งาน ถึงแม้จะเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ใหม่ก็ตาม)
5. ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการ จากนั้นคลิกเมาส์ที่ OK จะปรากฏข้อความที่หน้าต่างการทำงานดังรูป
6. ทำการคลิกเลือก Block ในส่วนของ Erase&Blank
7. จากนั้นคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Auto โปรแกรมจะทำงานเป็นขั้นตอนโดยอัตโนมัติ จนหน้าต่างการทำงานปรากฏข้อความดังรูป จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นการ โหลดไฟล์



8. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม RUN เพื่อทำการดูผลการทำงาน

ข้อปฏิบัติในการ Download Program

1. ขณะที่มีการใช้งาน RS232 / RS422 / RS485 อย่างใดอย่างหนึ่ง ต้องทำการถอดสาย Download RD2 ออกก่อนด้วยทุกครั้ง ในทางกลับกัน หากมีการ Download RD2 ก็ต้องทำการถอดสาย RS232 / RS422 / RS485 ด้วยเช่นกัน เพราะจะทำให้ไม่สามารถทำการ Download ได้
2. ในขณะที่ใช้ IC MAX232 เพื่อเลือกใช้ Line Driver ของ RS232 ต้องไม่เลือก Line Driver RS422/485 ก็คือต้องไม่ใช่ IC SN75176 ทั้ง 2 ตัว ในทำนองเดียวกัน หากทำการเลือก Line Driver RS422/485 จะต้องทำการใส่ IC SN75176 ทั้ง 2 ตัว แต่ต้องไม่ใช่ IC MAX232