

การควบคุมอุณหภูมิโดยวิธีการ TIME-PROPORTIONAL
TEMPERATURE CONTROL USING
TIME-PROPORTIONAL TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขทะเบียน 55050 ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้
วัน,เดือน,ปี - 7 เม.ย. 2548
i.....

**TEMPERATURE CONTROL USING
TIME-PROPORTIONAL TECHNIQUE**



**A 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**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้วิธีการ TIME-PROPORTIONAL
TEMPERATURE CONTROL USING TIME-PROPORTIONAL
TECHNIQUE

นักศึกษาผู้จัดทำ นายเจริญศักดิ์ อุณพันธ์ รหัสประจำตัว 44015465
นายนริศร ชุ่มใจ รหัสประจำตัว 44015520
นายวรชัย เต็มวิฑิตการ รหัสประจำตัว 44015529
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	
อ.อัมพวัน ใจกล้า	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2547
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

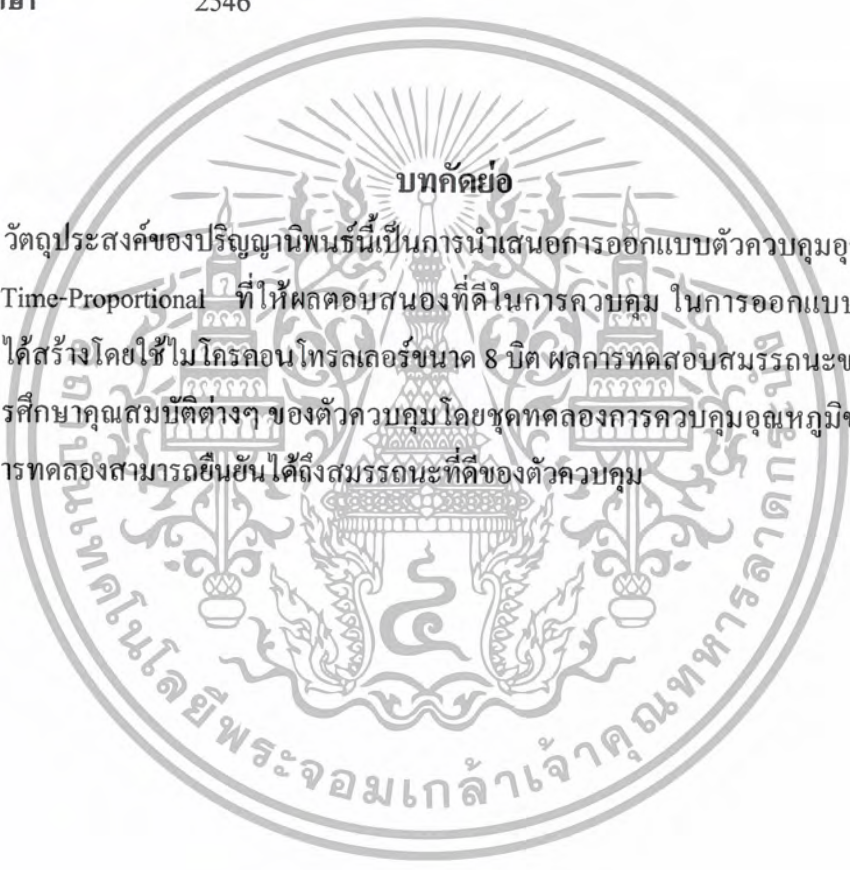
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การควบคุมอุณหภูมิโดยวิธีการ TIME-PROPORTIONAL TEMPERATURE CONTROL USING TIME-PROPORTIONAL TECHNIQUE	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายเจริญศักดิ์	อุณพันธ์
	นายนริศร	ชุ่มใจ
	นายวรชัย	เต็มวิทิศกร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประสิทธิ์	จุลเสวีวงศ์
	อ.อัมพวัน	ใจกล้า
ปีการศึกษา	2546	

บทคัดย่อ

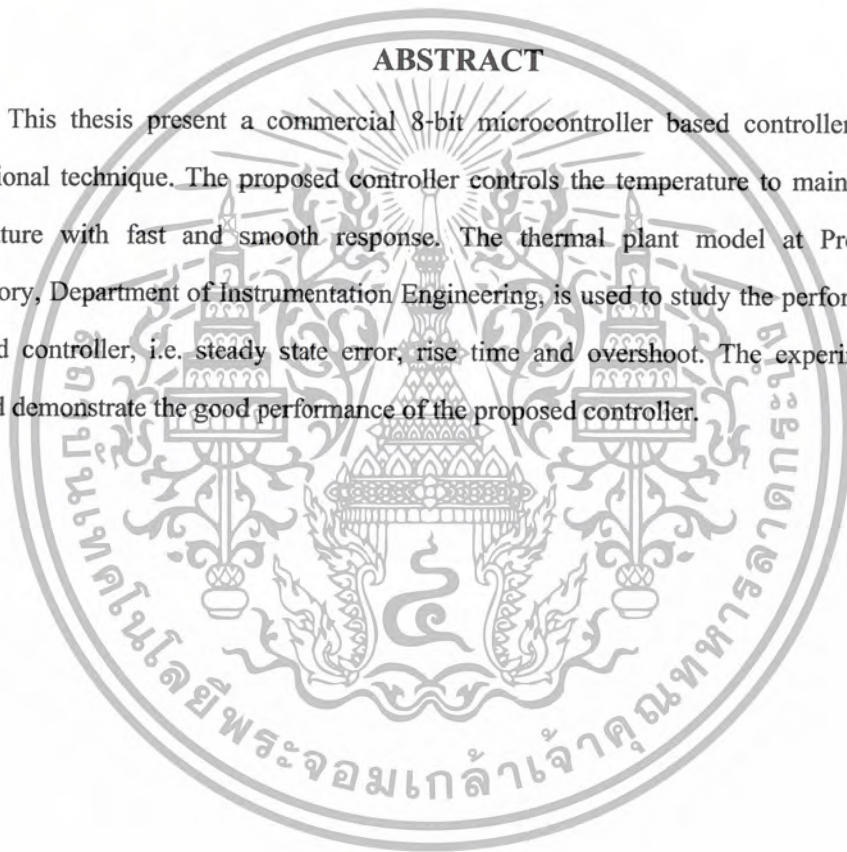
วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคนิค Time-Proportional ที่ให้ผลตอบสนองที่ดีในการควบคุม ในการออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอได้สร้างโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ผลการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม จะทำการศึกษาคณสมบัติต่างๆ ของตัวควบคุม โดยชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิของภาควิชาฯ จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ถึงสมรรถนะที่ดีของตัวควบคุม



Thesis Title	Temperature Control Using Time-Proportional Technique	
Authors	Mr.Charoensak	Unphun
	Mr.Narisorn	Chumjai
	Mr.Worachai	Termwitikarn
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prasit	Julsereewong
	Miss Amphawan	Chaikla
Year	2003	

ABSTRACT

This thesis present a commercial 8-bit microcontroller based controller using Time-Proportional technique. The proposed controller controls the temperature to maintain the target temperature with fast and smooth response. The thermal plant model at Process Control Laboratory, Department of Instrumentation Engineering, is used to study the performances of the designed controller, i.e. steady state error, rise time and overshoot. The experimental results included demonstrate the good performance of the proposed controller.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ และ อาจารย์อัมพวัน ใจกล้า ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้ พี่จ๊อบที่ช่วย Calibrate อาร์ทีดีให้และพี่ตู่ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการ ทำปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่เผ่าพันธุ์ ฤทธิ์เทพย์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่คอยให้คำปรึกษาและ คำแนะนำเกี่ยวกับวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมและอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.1.1 ตัวอย่างระบบควบคุมอุณหภูมิในเตาอบแบบทั่ว ๆ ไป	3
2.2 ระบบควบคุม (Control System)	4
2.2.1 ชนิดของระบบควบคุมแบ่งตามชนิดของพลังงาน	5
2.2.2 ระบบควบคุมแบ่งตามลักษณะการทำงาน	11
2.2.3 ชนิดของการกระทำของระบบควบคุม	12
2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน (Thermal Sensors)	15
2.3.1 นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature)	15
2.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ (Resistance Temperature Detectors: RTD)	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	25
3.1 กล่าวนำ	25
3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	25
3.2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89C51	25
3.2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	26
3.2.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต	29
3.2.4 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต	32
3.2.5 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต	32
3.2.6 หน่วยงานจำของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช	33
3.3 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I ² C เมอร์ PCF8591	37
3.3.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบ Successive Approximation	37
3.3.2 ความเที่ยงตรงของ ADC	39
3.3.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591	39
3.3.4 รายละเอียดฟังก์ชันต่าง ๆ ของ PCF8591	41
3.4 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)	44
3.5 ทฤษฎีพื้นฐานของ ไตรแอก	45
3.5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของ ไตรแอก	46
3.5.2 เทคนิคการใช้จุดตัดศูนย์ (Zero-Crossing)	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional	50
4.1 กล่าวนำ	50
4.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์	51
4.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	51
4.2.2 คีย์บอร์ด	51
4.2.3 ส่วนแสดงผล	52
4.2.4 วงจรตัดศูนย์ (Zero-Crossing)	52
4.2.5 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย	53
4.2.6 วงจรจูนชานวม	53
4.2.7 วงจรแปลงสัญญาณ ADC/DAC	55
4.3 การออกแบบทางด้านโปรแกรม	58
บทที่ 5 ผลการทดลอง	61
5.1 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเตาอบ	61
5.2 สรุปผลการทดลอง	69
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
6.1 บทสรุป	70
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	70
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิในเตาอบแบบทั่ว ๆ ไป	3
2.2 Self Actuated Control System	5
2.3 Electric Control System	6
2.4 Pneumatic Control System	7
2.5 Electronic-Electric Control System	8
2.6 Electronic-Hydraulic Control System	9
2.7 Electronic Pneumatic Control System	10
2.8 ระบบควบคุมแบบ Open-loop	11
2.9 ระบบควบคุมแบบ Close-loop	11
2.10 Two-Position (ON-OFF) Control	12
2.11 Timed Two-Position Control	13
2.12 Floating Control	13
2.13 กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับเปอร์เซ็นต์การ ON-OFF ในระบบการควบคุม Time-Proportional Control	14
2.14 อัตราส่วนของความต้านทานของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดี เทียบกับค่าความต้านทานของมันที่ 0°C	19
2.15 ลักษณะ โครงสร้างและส่วนประกอบของอาร์ทีดี	21
2.16 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี	22
2.17 วงจรการต่ออาร์ทีดี 3 สาย	23
2.18 วงจรการต่ออาร์ทีดี 4 สาย	23
3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89C51	26
3.2 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C51	28
3.3 โครงสร้างของพอร์ต 0 (บิต)	30
3.4 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)	30
3.5 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)	31
3.6 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)	31
3.7 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช	34
3.9 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช	35
3.10 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช	35
3.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่าง ของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลช	36
3.12 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลช	37
3.13 ไคอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบ Successive Approximation	38
3.14 การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I ² C เบอร์ PCF8591	40
3.15 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591	42
3.16 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591	43
3.17 วงจรพื้นฐานของ comparator	44
3.18 วงจรพื้นฐานของ comparator เมื่อเทียบกราวด์	44
3.19 สัญญาณทางด้าน output ของวงจร comparator เมื่อ V_{in} มากกว่า 0V	45
3.20 (ก.) สัญลักษณ์ของไตรแอก	45
3.20 (ข.) การใช้งานพื้นฐาน	45
3.21 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไตรแอก	47
3.22 การใช้ตัวตรวจจับการตัดศูนย์เป็นตัวทริกไตรแอก เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนให้ต่ำที่สุด	48
3.23 ตัวอย่างการแบ่งคาบเวลาการจ่ายไฟสลับให้แก่โหลดเป็นช่วง ๆ โดยมีความยาวช่วงละ 8 ลูกคลื่น	48
4.1 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ Proportional	50
4.2 ลักษณะไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ของ Atmel	51
4.3 รูปแบบการต่อสวิตซ์ใช้งาน	51
4.4 จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	52
4.5 วงจร Zero-Crossing	52
4.6 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมกับสัญญาณพื้นเลื้อย	53
4.8 สัญญาณพื้นเลื้อยที่ได้จากการทดลอง	54
4.9 วงจรจุดชนวน	54
4.10 ลักษณะของกระแสไฟที่จ่ายให้กับโหลด	54
4.11 Block Diagram ของเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional	56
4.12 วงจรรวมของเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional	56
4.13 เครื่องควบคุมแบบ Time-proportional	57
4.14 การทำงานของปุ่มควบคุมต่างๆ	57
4.15 Flow Chart ของ โปรแกรมหลัก	58
4.16 Flow Chart ของ โปรแกรมรับค่า	59
4.17 Flow Chart ของ โปรแกรมคำนวณ	60
5.1 วงจรการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ	61
5.2 Block Diagram ของ Temperature Process	62
5.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเครื่องควบคุมแบบ Time-proportional	62
5.4 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 60\%$, $Gain = 10$	63
5.5 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 40\%$, $Gain = 12$	64
5.6 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 60\%$, $Gain = 12$	65
5.7 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 60\%$, $Gain = 15$	66
5.8 ผลตอบสนองของระบบเมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ปัจจุบันกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศเป็นอย่างมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีการควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือ ในการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการผลิตต่างๆ จะใช้ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุม (Controller) คอยทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการแทนมนุษย์ เป็นเวลากว่า 50 ปีแล้วที่ตัวควบคุมต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้และได้รับการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่การทำงานของตัวควบคุมเป็นแบบนิวแมติกส์ (Pneumatics) มาเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) จนมาถึงในยุคปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์มีมากขึ้น จึงได้มีการนำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างตัวควบคุมด้วยการทำงานที่เป็นแบบดิจิทัล (Digital) [3] ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้เกิดแนวคิดที่จะสร้างเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลโดยวิธีการ Time-Proportional ขึ้น ซึ่งการควบคุมโดยวิธีการ Time-Proportional นี้จะมีข้อได้เปรียบตรงที่สามารถลดสัญญาณรบกวนได้โดยอาศัยเทคนิคการตัดศูนย์และยังช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานเมื่อกระบวนการควบคุมนั้นเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาบัตร

ปริญญาบัตรเล่มนี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional โดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional นี้มีขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงและใช้งานได้ง่าย เนื่องจากเป็นเครื่องควบคุมที่มีการทำงานผ่านทางวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [5] ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือเสริมในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรม เพื่อลดเวลาและความยุ่งยากในการควบคุมกระบวนการลงและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นจากการวัด นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อตัวควบคุมที่มีราคาแพงมาใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึง การพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนของการออกแบบวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และส่วนของการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [5] เพื่อให้ได้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ โดยให้สามารถรักษาอุณหภูมิของระบบให้คงที่หรือมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในปริญญาานิพนธ์เล่มนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของแต่ละทดลองหาความสามารถของระบบที่ต้องการจะควบคุม เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยโครงการ จากนั้นจะเป็นการออกแบบในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยวงจรการรับค่า (Keyboard), วงจรตัดศูนย์ (Zero-Crossing), วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย, วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรจูนชนวน ไตรแอกและส่วนของวงจรแสดงผลการทำงาน [6]-[7], [9] สุดท้ายเป็นการนำเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional ที่สร้างขึ้น ไปทดลองควบคุมอุณหภูมิของแต่ละที่ได้

บทที่ 2

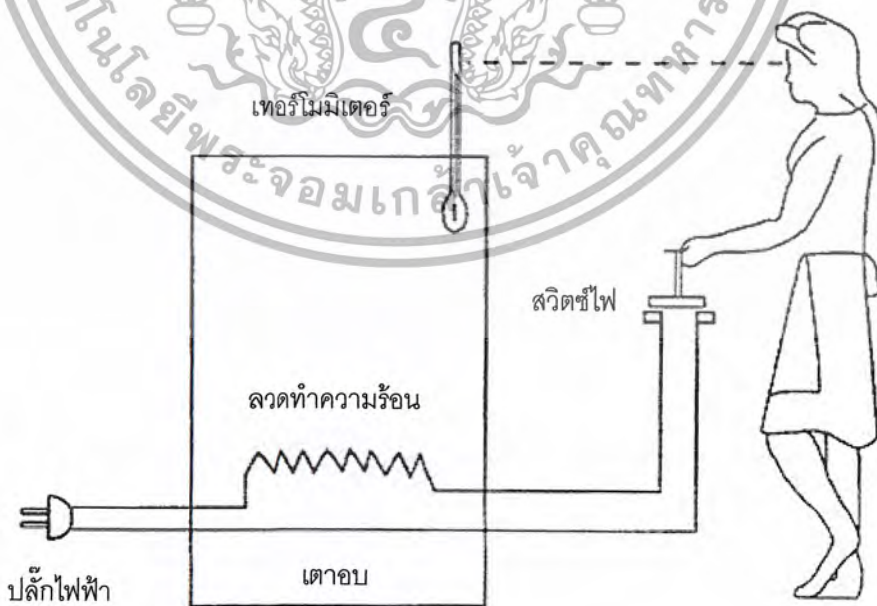
ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมและอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

2.1 กล่าวนำ (Introduction)

ในปัจจุบันการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ ได้ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากระบบอัตโนมัติช่วยทำให้งานสำเร็จตามความมุ่งหมายได้รวดเร็วถูกต้องและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำงานน้อย อีกทั้งยังช่วยป้องกันเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ให้เสียหายเมื่อเกิดการผิดพลาดจากสภาพปกติในระหว่างการทำงาน โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม [3] คือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) แรงดัน (Pressure) อัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเป็นกรดด่าง (PH) และอื่น ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการให้มากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

2.1.1 ตัวอย่างระบบควบคุมอุณหภูมิในเตาอบแบบทั่ว ๆ ไป

เมื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบให้คงที่อยู่ที่ 100°C ระบบที่ใช้แสดงดังภาพที่ 2.1 โดยมีเทอร์โมมิเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับ (Sensor) คนทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม สวิตช์ไฟ ทำหน้าที่เป็นตัวถูกควบคุม พลังงานที่ใช้คือความร้อนภายในเตาอบ สิ่งที่ต้องการจะควบคุมคือ อุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบและตัวกลางที่ทำให้เกิดความร้อนคือ ลวดทำความร้อน



ภาพที่ 2.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิในเตาอบแบบทั่ว ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงาน เทอร์โมมิเตอร์จะวัดอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบโดยมีขีปนของตัวเทอร์โมมิเตอร์เป็นตัวแสดงอุณหภูมิ คนซึ่งเป็นตัวควบคุมจะดูที่เทอร์โมมิเตอร์ว่าอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบถึง 100°C ถ้ายังไม่ถึงก็จะกดสวิตซ์ไฟให้ไฟฟ้าผ่านลวดทำความร้อน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดทำความร้อน ลวดทำความร้อนก็จะร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในเตาอบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอบถึง 100°C คนก็จะปล่อยสวิตซ์ไฟทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านลวดทำความร้อน ถ้าไม่มีการสูญเสียความร้อนอุณหภูมิภายในเตาอบก็จะอยู่ที่ แต่เนื่องจากความร้อนภายในเตาอบถ่ายเทให้กับอากาศภายนอกเตาอบ เพราะอุณหภูมิของอากาศภายนอกเตาอบต่ำกว่าอุณหภูมิภายในเตาอบ ทำให้อุณหภูมิภายในเตาอบลดลง เมื่อคนเห็นอุณหภูมิภายในเตาอบลดลง ก็จะต้องกดสวิตซ์ไฟให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดทำความร้อนอีก จนอุณหภูมิภายในเตาอบถึง 100°C แล้วถึงปล่อยสวิตซ์ไฟเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบจะไม่ได้ 100°C ตลอดเวลาแต่จะอยู่ในช่วงหนึ่ง เช่น $100 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วง $\pm 2^{\circ}\text{C}$ นี้ขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ เช่น ความไวของคนที่อ่านเทอร์โมมิเตอร์แล้วกดหรือปล่อยสวิตซ์ไฟ เวลาที่ปรอทในเทอร์โมมิเตอร์ขยายตัวจนถึงขีดที่บอกอุณหภูมิตามอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบและการหมุนเวียนของอากาศภายในเตาอบ เป็นต้น

2.2 ระบบควบคุม (Control System)

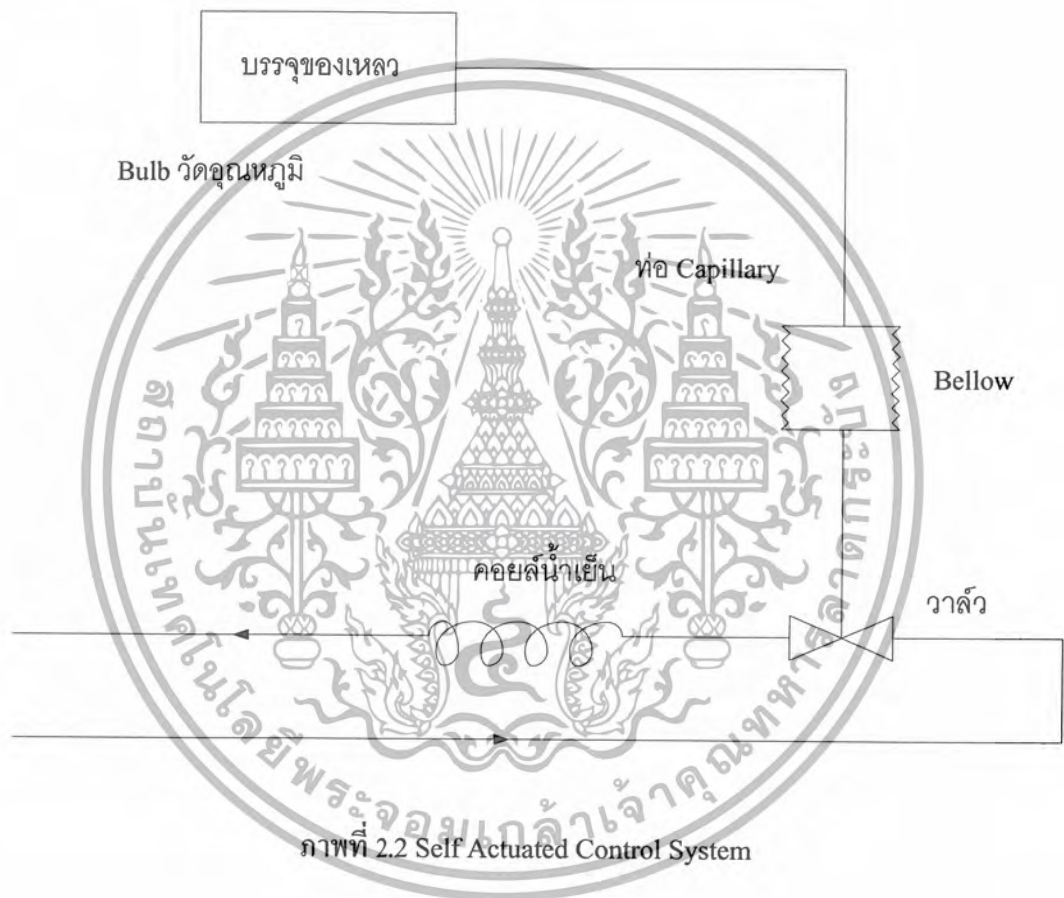
ระบบควบคุม [8] ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

1. ตัวตรวจจับ (Sensor) มีหน้าที่วัดสิ่งที่ต้องการจะควบคุม (Control Variable) เช่น อุณหภูมิ, ความดัน และความชื้น เป็นต้น แล้วส่งผลไปให้ตัวควบคุม
2. ตัวควบคุม มีหน้าที่รับผลของการวัดจากตัวตรวจจับ แล้วปรับปรุงผลให้เหมาะสมเพื่อส่งไปให้ตัวควบคุม
3. ตัวถูกควบคุม มีหน้าที่รับผลจากตัวควบคุมแล้วทำงานตามผลที่ได้รับ ตัวอย่างของตัวถูกควบคุมเช่น Valve Actuator, Damper Actuator Relay และมอเตอร์ เป็นต้น
4. แหล่งจ่ายพลังงาน มีหน้าที่ส่งพลังงานให้แก่ตัวตรวจจับ ตัวควบคุมและตัวถูกควบคุม พลังงานที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ ความร้อน, ไฟฟ้า, อากาศที่มีความดันสูง และของเหลวที่มีความดันสูง เป็นต้น

2.2.1 ชนิดของระบบควบคุมแบ่งตามชนิดของพลังงาน แบ่งได้เป็น 6 ชนิดคือ [8]

2.2.1.1 Self Actuated Control System

เป็นระบบที่รวมตัวควบคุมและตัวถูกควบคุมไว้ในตัวเดียวกัน แหล่งของพลังงานที่ใช้ได้มาจากแหล่งที่ต้องการจะควบคุม เช่น Thermal Expansion Valve ตัวตรวจจับจะได้รับความร้อนภายในห้องที่ต้องการจะควบคุมอุณหภูมิในการขยายตัวของเหลวที่อยู่ใน bulb เมื่อของเหลวขยายตัวก็จะเปิดหรือปิดให้ฟรีออนไหลผ่านวาล์ว ระบบนี้จะมีความไวในการควบคุมน้อย เพราะจะมีมวลมาก จึงทำให้มีความถูกต้องในการควบคุมน้อย แสดงดังภาพที่ 2.2

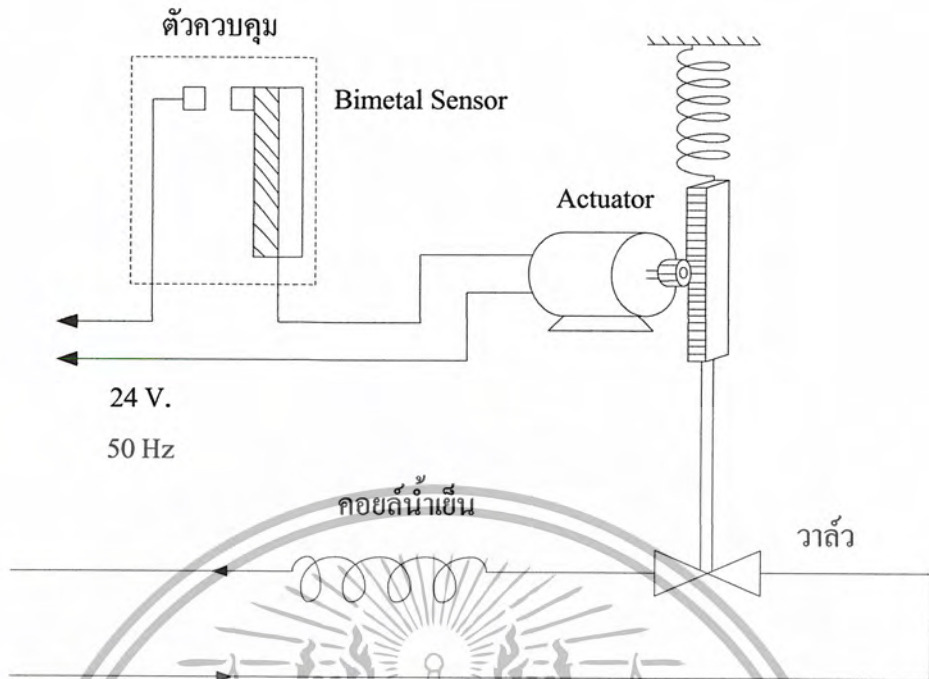


2.2.1.2 ระบบควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้า (Electric Control System)

แหล่งของพลังงานที่ใช้เป็นไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็น Low หรือ Line Voltage ก็ได้ แสดงดังภาพที่ 2.3 ถ้าเป็น Line Voltage (220V) สวิตช์จะต่อตรงเข้ากับ Line ถ้าเป็น Low Voltage (24V) สวิตช์จะต่อตรงเข้ากับ Relay ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์อีกตัวหนึ่งสำหรับต่อ Line Voltage เข้ากับ Load การควบคุมโดยใช้ Low Voltage จะให้ความไวดีกว่าเมื่อใช้ Line Voltage เพราะมวลของสวิตช์จะน้อย เนื่องจากกระแสไฟที่ผ่าน Relay มีค่าน้อย ซึ่งตรงกันข้ามกับเมื่อไม่ใช้ Relay กระแสไฟฟ้าผ่านสวิตช์จะเป็นกระแสไฟที่ผ่าน Load ซึ่งจะใช้กระแสไฟมาก จึงต้องใช้หน้าสัมผัส

ใหญ่ ทำให้มีมวลมาก

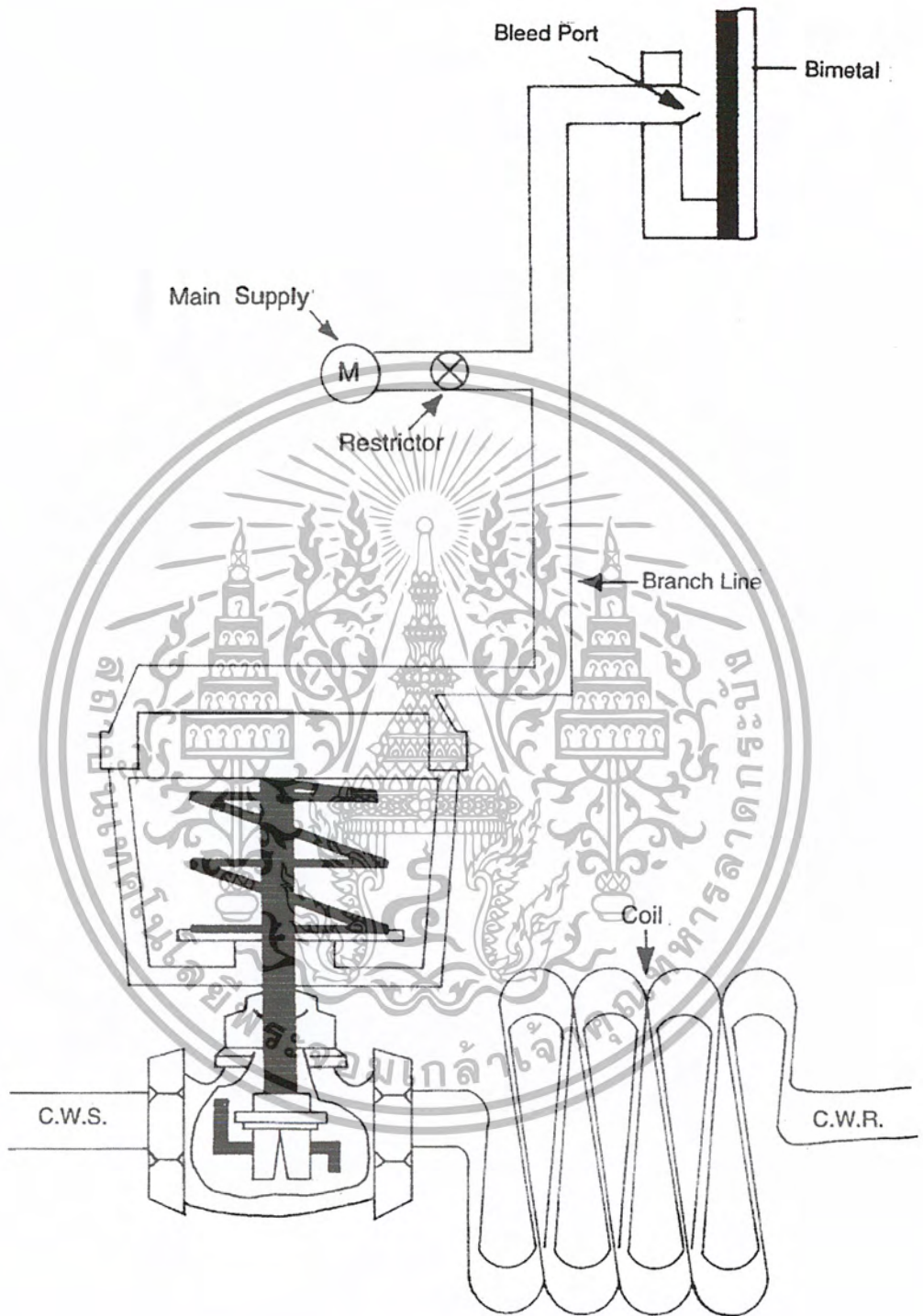
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 Electric Control System

2.2.1.3 ระบบควบคุมด้วยสัญญาณลม (Pneumatic Control System)

ในระบบนี้แหล่งพลังงานได้มาจากอากาศที่มีความดัน โดยทั่วไปจะให้ความดันอยู่ในช่วง 15 ถึง 25 Psig ระบบนี้นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกันมาก เนื่องจากมีพลังงานของอากาศที่มีความชื้นสูงอยู่อย่างเหลือเฟือ ในระบบปรับสภาวะอากาศที่มีขนาดเล็กจะไม่นิยมใช้การควบคุมระบบนี้ เพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็นระบบปรับสภาวะอากาศที่มีขนาดใหญ่ ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้มากกว่าระบบที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุม เนื่องจากมีความปลอดภัยมากกว่า ในขณะที่ราคาใกล้เคียงกัน

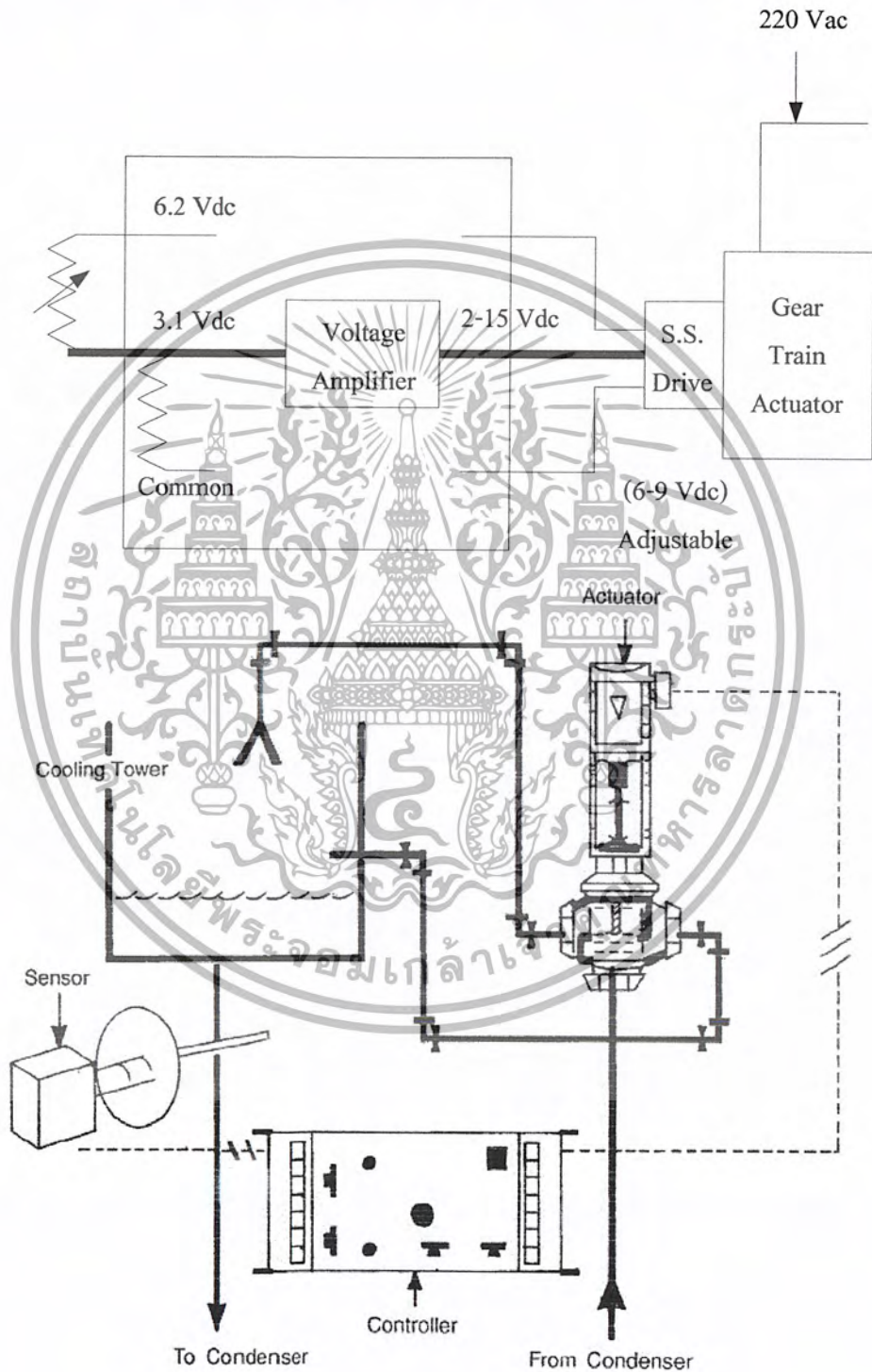


ภาพที่ 2.4 Pneumatic Control System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 Electronic-Electric Control System

เป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนควบคุมหลัก แต่ในส่วนที่เป็น Electronic จะต้องแปลงจากไฟ AC. มาเป็นไฟ DC. เสียก่อน ตัวควบคุมมักจะเป็นระบบ Electric เพราะ ตัวตรวจจับจะมีมวลดน้อยทำให้มีความไวสูงในการควบคุม แสดงดังภาพที่ 2.5

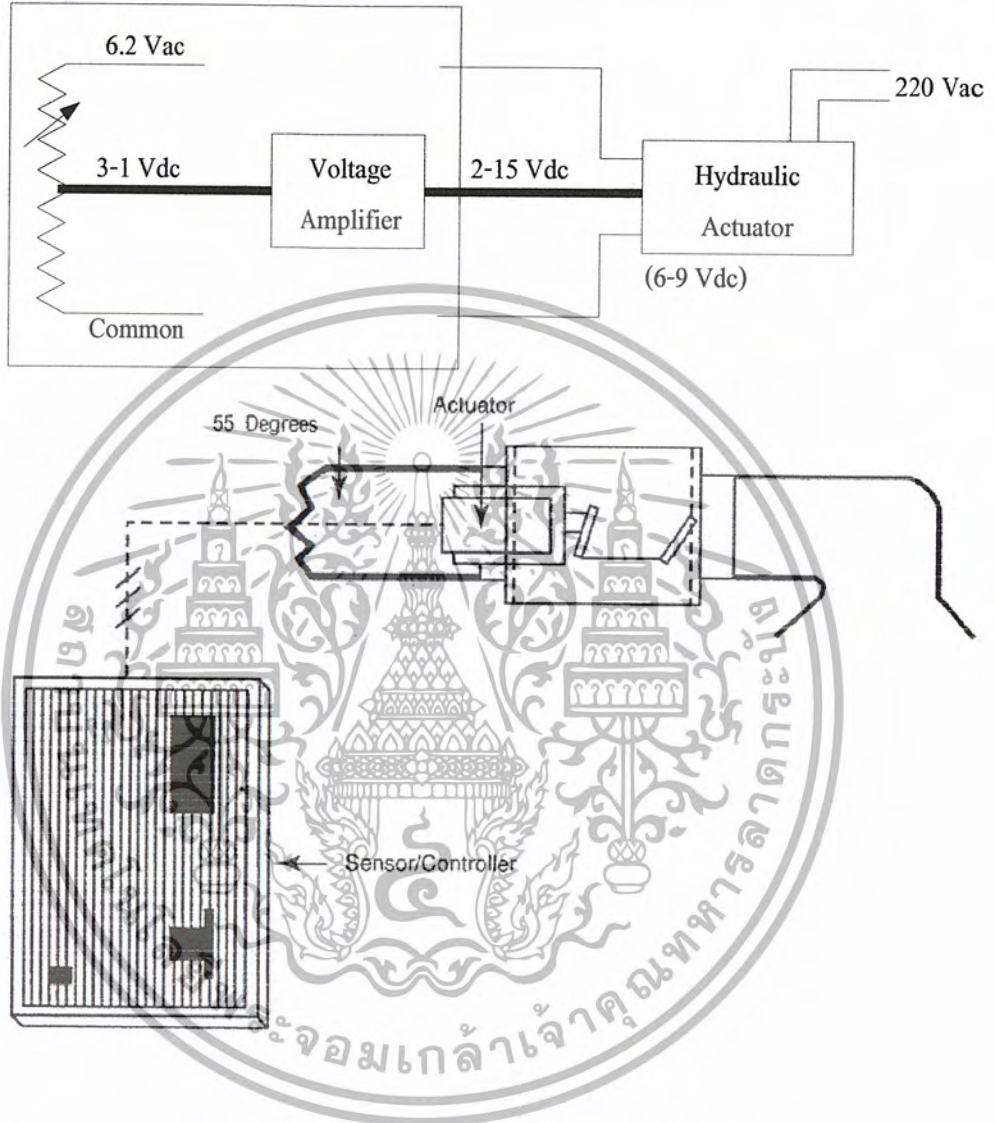


ภาพที่ 2.5 Electronic-Electric Control System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.5 Electronic-Pneumatic Control System

แหล่งของพลังงานได้มาจากไฟฟ้าและอากาศที่มีความดันสูงตัวควบคุมจะเป็นระบบ Electronic ส่วนตัวถูกควบคุมจะเป็นระบบ Pneumatic แสดงดังภาพที่ 2.6

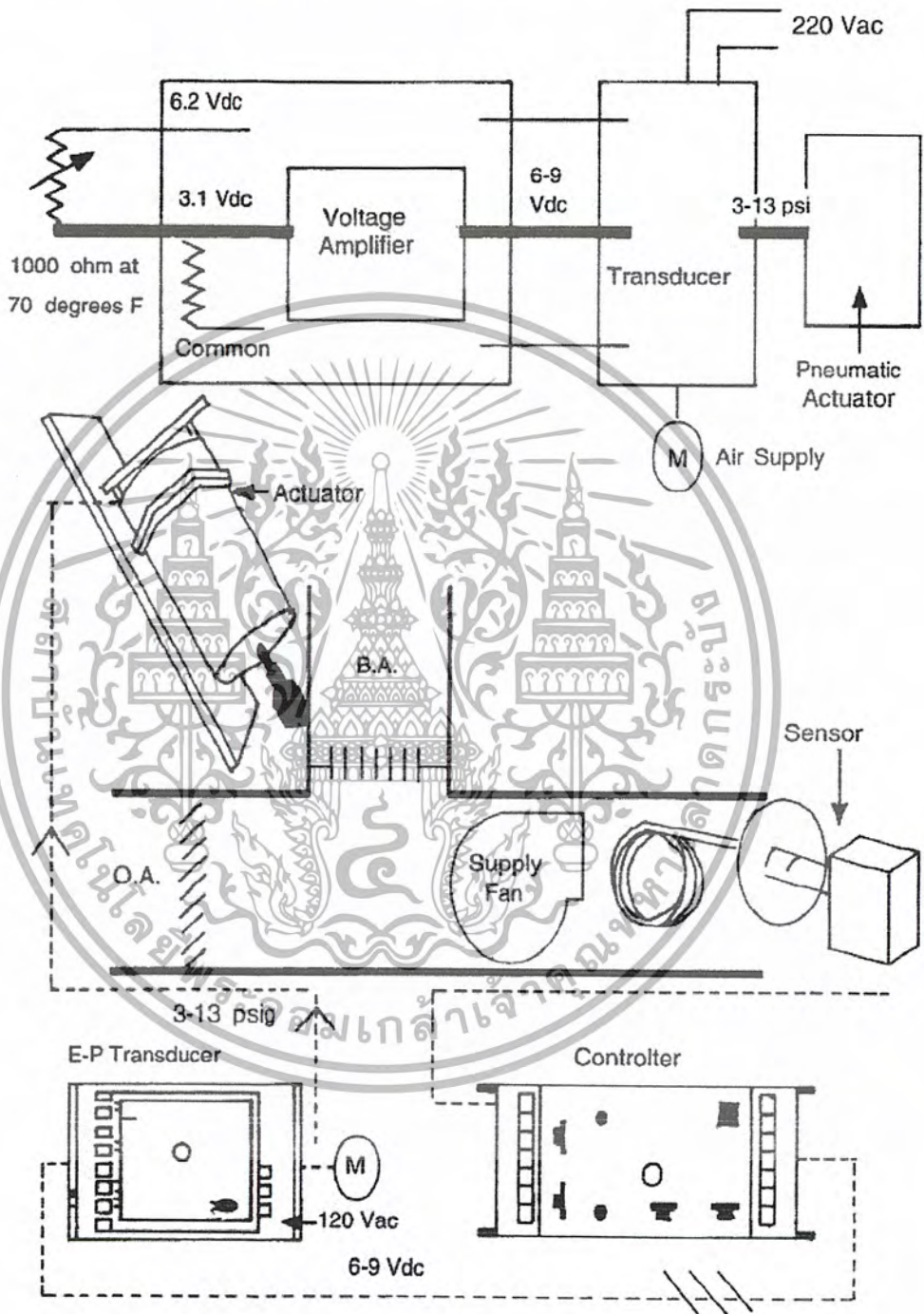


ภาพที่ 2.6 Electronic-Hydraulic Control System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.6 Electronic – Hydraulic Control System

แหล่งของพลังงานได้มาจากไฟฟ้าและของเหลวที่มีความดันสูง ตัวควบคุมจะเป็นระบบ Electronic ส่วนตัวถูกควบคุมจะเป็นระบบ Hydraulic แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 Electronic Pneumatic Control System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ระบบควบคุมแบ่งตามลักษณะการทำงาน แบ่งได้ 2 ชนิดคือ

2.2.2.1 ระบบควบคุมแบบ Open-loop

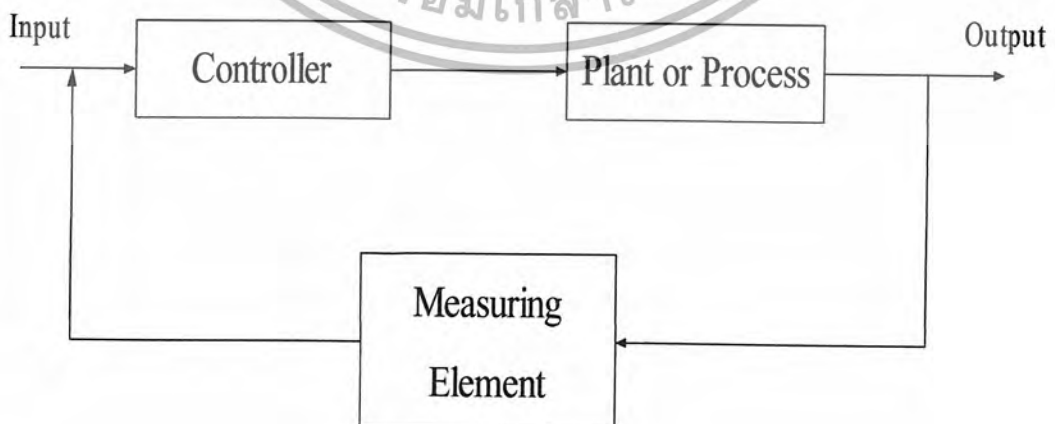
เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือในกรณีของระบบควบคุมแบบ Open-loop นั้น เอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต แสดงดังภาพที่ 2.8 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบ Open-loop [3]-[4]



ภาพที่ 2.8 ระบบควบคุมแบบ Open-loop

2.2.2.2 ระบบควบคุมแบบ Close-loop

เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่ง ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Close-loop ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง โดยสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตที่ป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตามที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ แสดงดังภาพที่ 2.9 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบ Close-loop [3]-[4]



ภาพที่ 2.9 ระบบควบคุมแบบ Close-loop

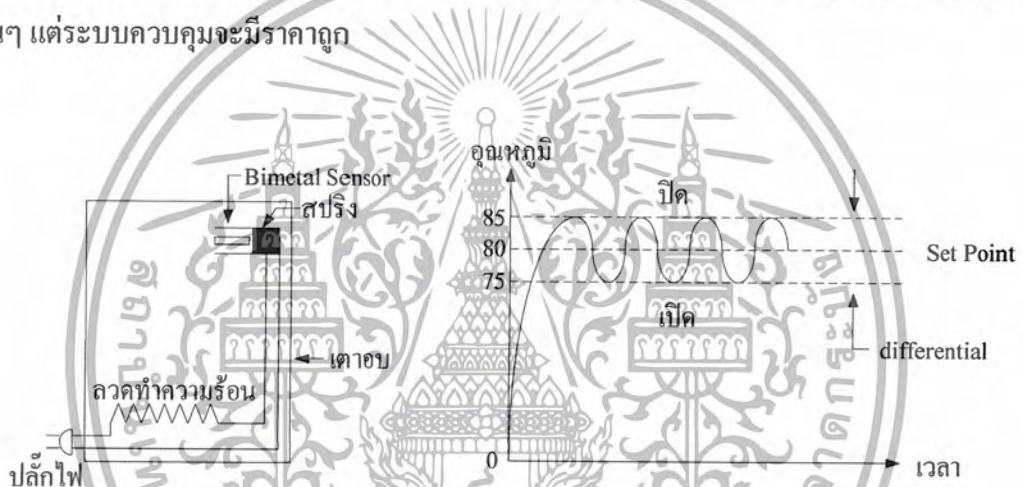
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ชนิดของการกระทำของระบบควบคุม

ชนิดของการกระทำของระบบควบคุม แบ่งออกได้หลายชนิด [8] ดังนี้

2.2.3.1 Two-Position (ON-OFF) Control

การควบคุมแบบนี้ ตัวถูกควบคุมจะมีเพียงสองตำแหน่ง คือ ตำแหน่งเปิดสุด และตำแหน่งปิดหมด เช่น การควบคุมโดยใช้ Bimetal Electric Thermostat เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดลงมาถึง 80°C หน้าสัมผัส (Contact) ก็ยังไม่ปิด ต้องเลยลงไปถึง 75°C Contact จึงจะปิด การควบคุมด้วยระบบนี้ จะมี Differential เสมอ ในตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2.10 จะเท่ากับ $85 - 75 = 10^{\circ}\text{C}$ และ Differential จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับ Thermal Lag ที่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับมวลของอากาศในเตาอบ มวลของ Thermostat การเคลื่อนที่ของอากาศภายในเตาอบ และตำแหน่งการติดตั้งของ Thermostat เป็นต้น โดยทั่วไประบบ Two-Position จะให้ Differential มากกว่าระบบอื่นๆ แต่ระบบควบคุมจะมีราคาถูก



ภาพที่ 2.10 Two-Position (ON-OFF) Control

2.2.3.2 Timed Two-Position Control

การควบคุมในระบบนี้ปรับปรุงมาจากระบบ Two-Position โดยทำให้ตัวควบคุมทำงานสั้นลงกว่าเดิม เพื่อลด Overshoot (ค่าที่เกินจาก Set Point) ให้น้อยลงสำหรับ Bimetal Thermostat ทำได้โดยต่อลวดทำความร้อนอนุกรมเข้ากับตัวตรวจจับแสดงดังภาพที่ 2.11

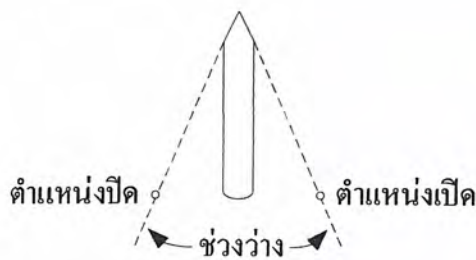


ภาพที่ 2.11 Timed Two-Position Control

การทำงานเมื่อใช้ในการควบคุมเตาอบหรือการควบคุมในการทำความร้อน เมื่อน้ำสัมผัสปิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านลวดทำความร้อนที่อยู่ใกล้ ๆ กับ Bimetal ทำให้ Bimetal ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง ทำให้หน้าสัมผัสเปิดเร็วขึ้นกว่าเดิมจึงช่วยลด Overshoot ลง สำหรับการควบคุมในการทำความเย็น ลวดทำความเย็นก็จะต่อแบบขนานกับตัวตรวจจับแทนที่จะต่อแบบอนุกรม

2.2.3.3 Floating Control

การควบคุมในระบบนี้ ก็ปรับปรุงมาจากระบบ Two-Position เหมือนกัน โดยแทนที่จะมีเพียงสองตำแหน่ง คือ ตำแหน่งปิด และตำแหน่งเปิด ก็จะมีอีกตำแหน่งหนึ่งซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่งปิดและตำแหน่งเปิด แสดงดังภาพที่ 2.12 ในช่วงระหว่างตำแหน่งปิดและตำแหน่งเปิดนี้ ตัวถูกควบคุมจะไม่ทำงาน



ภาพที่ 2.12 Floating Control

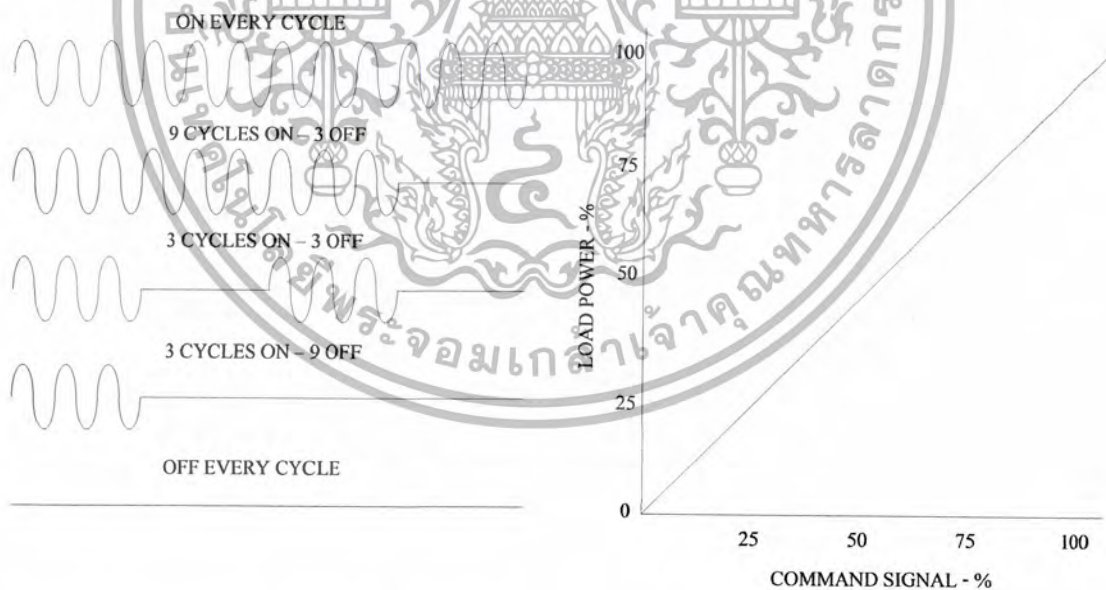
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 Proportional (Modulating) Control

การควบคุมแบบ Proportional ตัวควบคุมจะมี Output เป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่ควบคุม และช่วงที่มี Output เป็นสัดส่วนนี้เรียกว่า Proportional band หรือ Throttling range

2.2.3.5 Time-Proportional Control

Time-Proportional Control เป็นรูปแบบการควบคุมที่ใช้การปรับอัตราส่วนช่วงเวลาของการ ON และ OFF ภายในช่วงเวลาสั้น ๆ ค่าของ PV จะอยู่รอบๆ ค่า Set point ระบบ Time-Proportional จะไม่มีช่วง Over Shoot แต่จะลู่เข้าสู่ค่า Set Point และจะรักษาระดับของอุณหภูมิให้คงที่ไว้ การทำงานของระบบจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือ ON-OFF เต็มที่ โดยอัตราส่วนของช่วงเวลากการ ON-OFF จะขึ้นอยู่กับค่าที่จากการป้อนกลับของตัวตรวจจับ ถ้าค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ Set point อัตราส่วนของช่วงเวลากการ ON-OFF จะเป็น 1:1 ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่า Set Point ช่วงเวลากการ ON จะนานกว่า ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่า Set Point ช่วงเวลากการ OFF จะนานกว่า ข้อดีของการควบคุมแบบ Time-Proportional คือประหยัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ค่า Set Point แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 กำลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับเปอร์เซ็นต์การ ON-OFF ในระบบการควบคุม Time-Proportional Control

Time-Proportional Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน (Thermal Sensors)

2.3.1 นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature)

2.3.1.1. พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

ในวัสดุที่เป็นของแข็ง แต่ละอะตอมหรือแต่ละ โมเลกุลจะยึดเกาะหรือมีพันธะต่อกันอย่างแข็งแรงสภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า “ตำแหน่งสมดุล” (equilibrium position) [1]-[3] อย่างไรก็ตามแต่ละอะตอมยังคงสามารถสั่นสะเทือนรอบตำแหน่งที่มันตั้งอยู่ได้ แต่ถ้าเป็นของแข็งที่ไม่มีพันธะของโมเลกุล แสดงว่าพลังงานความร้อนภายในอะตอมเป็นศูนย์หรือ $W_{TH} = 0$ ตอนนี้นำพลังงานให้กับวัตถุดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนรอบ ๆ ตำแหน่งสมดุลของมันจึงกล่าวได้ว่าขณะนี้พลังงานความร้อนเกิดขึ้นหรือ $W_{TH} > 0$ หากเราเพิ่มพลังงานเข้าไปในวัตถุนี้การสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายสภาวะในการยึดเกาะก็จะน้อยลงและแตกออกในที่สุด แสดงว่าวัตถุดังกล่าวนี้เกิดการหลอมละลายและกำลังจะกลายเป็นของเหลว

ในกรณีของแก๊สหากเพิ่มพลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของเหลวให้มากขึ้นต่อไปอีก ความเร็วของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาวะสุดท้ายทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแต่ละโมเลกุลเต็มที หากถึงขั้น โมเลกุล ไม่สัมพันธ์กันและเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ๆ (random) ในภาชนะ วัตถุดังกล่าวก็จะกลายเป็นแก๊ส ไปในที่สุดมีผลทำให้โมเลกุลชนกระแทกกับโมเลกุลอื่น ๆ รวมถึงผนังของภาชนะ

ในงานจริง วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดความร้อน อุปกรณ์วัดความร้อนของวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

2.3.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

หน่วยของการวัดพลังงานที่เหมาะสมก็คือ “จูล” (Joule) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ SI ค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ เพราะมันจะเป็นตัวบอกปริมาณในการเก็บความร้อน ส่วนการวัดพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อ โมเลกุลก็มีหน่วยเป็นจูลเช่นเดียวกัน

2.3.1.3 สเกลของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature Scale)

มีการใช้งาน 2 สเกลด้วยกัน คือ สเกลเคลวิน (K) และสเกลแรงคิต ($^{\circ}R$) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$(1K) = \frac{180}{100} (1^{\circ}R) = \frac{9}{5} (1^{\circ}R) \quad (2.1)$$

ดังนั้น การแปลงสเกล ก็จะกำหนดได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(K) = \frac{5}{9} T(^{\circ}R) \quad (2.2)$$

เมื่อ $T(K)$ = อุณหภูมิในหน่วย K
 $T(^{\circ}R)$ = อุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}R$

2.3.1.4 สเกลอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Relative to Thermal Energy)

สเกลนี้คือสเกลขององศาเซลเซียส (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน) และองศาฟาเรนไฮต์ (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน)

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15 \quad (2.3)$$

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}R) - 459.6 \quad (2.4)$$

$$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5} T(^{\circ}C) + 32 \quad (2.5)$$

ความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน (Relative to Thermal Energy)

$$W_{TH} = \frac{3}{2} kT \quad (2.6)$$

เมื่อ $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K เป็นค่าคงที่ของโบลซ์มาน

2.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ (Resistance Temperature Detectors: RTD)

2.3.2.1 ประวัติความเป็นมาของอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detectors)

ในปีเดียวกันกับที่ซีเบ็คค้นพบกฎของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (Thermoelectric Law) เซอร์ ฮัมฟรีย์ เดวี ก็ค้นพบว่า ค่าความต้านทานของลวดโลหะก็จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ อีก 50 ปีต่อมา เซอร์ วิลเลียม ซีเมนส์ [1] ได้ทำการทดลองอย่างจริงจัง และพบว่า เส้นลวดแพลทินัมสามารถใช้เป็นตัวกลางวัดอุณหภูมิได้ และต่อมาได้กลายเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่แพร่หลายเช่นในปัจจุบัน ใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสากลในการวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของออกซิเจน (-182.96 $^{\circ}C$) ไปจนถึงจุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74 $^{\circ}C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 หลักการของอาร์ทีดี

ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ ดังนี้

$$R_t = R_0(1 + \alpha T) \text{ หรือ } dR_t / dT = \alpha R_0 \tag{2.7}$$

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ $t^\circ\text{C}$

R_0 คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0°C

α คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ $1^\circ\text{C} (\Omega/\Omega^\circ\text{C})$ (Temperature Coefficient of Resistance)

ซึ่งค่า α มีค่าเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น แพลตินัม $0.00392\Omega/\Omega^\circ\text{C}$ จากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 100°C , นิกเกิล $0.0063\Omega/\Omega^\circ\text{C}$, ทองแดง $0.00425\Omega/\Omega^\circ\text{C}$

ในทางปฏิบัติค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง (Nonlinearity) ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอน สามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R_t = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^4) \tag{2.8}$$

ค่า α , β และ γ ได้จากการทดลอง (Empirical Quantity) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น แพลตินัม ($\alpha = 3.985 \times 10^{-3}$, $\beta = -5.856 \times 10^{-7}$, $\gamma = 4.330 \times 10^{-10}$)

สูตรนี้สามารถใช้ได้ทั้งย่านการใช้งานที่ต้องการ Accuracy สูง แต่โดยทั่วไปการคำนวณจะใช้สูตร $R_t = R_0(1 + \alpha T)$ โดยเลือกใช้ค่า α ตามตาราง

ในช่วง 90 ปีที่ผ่านมา สถาบันและสมาคมหลายแห่งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาร์ทีดีได้กำหนดมาตรฐานต่างกันไป สมาคมเหล่านี้ได้แก่ สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ (SAMA) แห่งสหรัฐอเมริกา สถาบันมาตรฐานแห่งอังกฤษ (British Standard Institute) และสถาบันมาตรฐานแห่งเยอรมัน (Deutsches Institut fur Normung e.V.'s) แต่ต่อมากลุ่มกำหนดมาตรฐาน IEC (IES Standard Groups) ได้กำหนด Calibration Curve ของอาร์ทีดีแบบแพลตินัมใหม่ และเป็นที่ยอมรับของสมาคมทั้งสามดังกล่าว ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 400°C ค่าผิดพลาดไม่เกิน $\pm 0.2^\circ\text{C}$ และที่ช่วงอุณหภูมิ 400°C ถึง 600°C ค่าผิดพลาดไม่เกิน $\pm 0.5^\circ\text{C}$ กราฟในภาพที่ แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่าง ๆ แกนในแนวตั้งจะบอกว่า ความต้านทานที่อุณหภูมิ $T(R_t)$ จะมีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานที่ 0°C ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึง 5 เท่า หรือมากกว่า อาร์ทีดีแบบแพลตินัมเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในงานอุตสาหกรรม มีค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายานาน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 โอห์ม ที่ 0°C และเป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปหรือเรียกว่าแบบ Standard Platinum Resistance-Thermometers (SPRTs) ในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 600°C ควรใช้อาร์ทีดีแพลทินัมแบบ 10 โอห์ม เพราะทำให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม

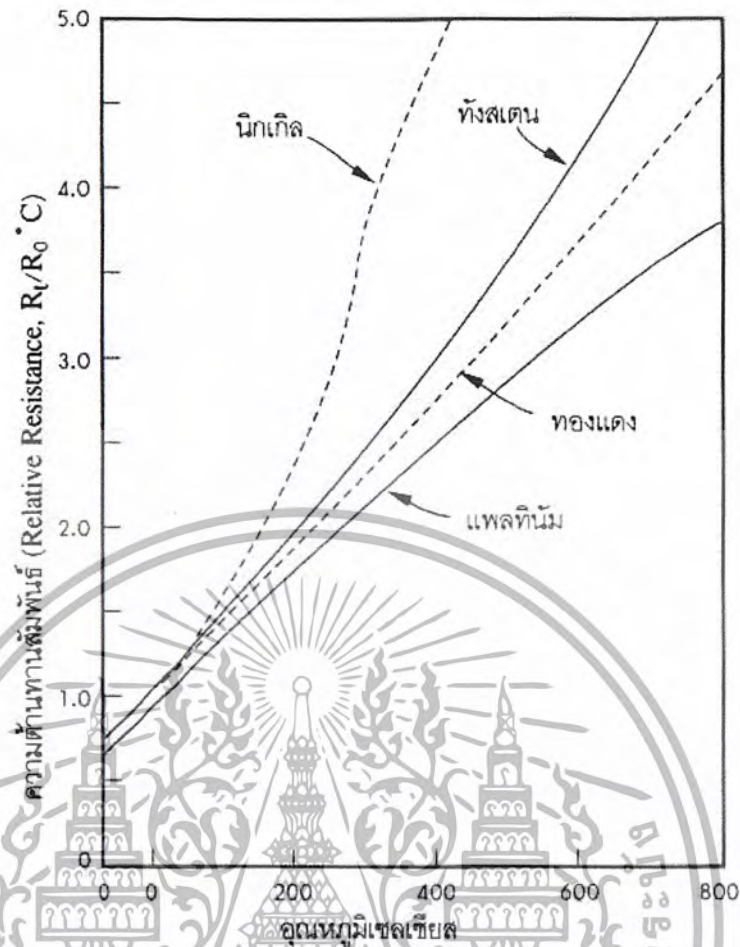
นิกเกิลอาร์ทีดี ไม่ใช่แบบมาตรฐานเหมือนแพลทินัม เพราะต่างบริษัทก็กำหนดค่าความต้านทานที่ 0°C ต่างกันออกไปทำให้การเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ทรานสมิตเตอร์, เครื่องควบคุม, เครื่องบันทึก เฉพาะของบริษัทนั้นๆ บางบริษัทกำหนดค่าความต้านทาน 235.116 โอห์ม ที่ 0°C นิกเกิลอาร์ทีดี วัดอุณหภูมิได้ไม่สูงเท่ากับแพลทินัม ย่านการใช้งานอยู่ในช่วง -195°C ถึง 360°C ค่าผิดพลาดต่ำกว่าแบบแพลทินัม

อาร์ทีดีแบบทองแดง เป็นแบบที่ให้ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ในการวัดดีที่สุด แต่ย่านการใช้งานแคบ ประมาณ -200°C ถึง 150°C และมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ ปกติจะมีค่าความต้านทาน 10Ω ที่ 0°C ค่าผิดพลาด $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$

อาร์ทีดีแบบทั้งสแตนดาร์ด ก็มีที่ใช้อยู่บ้าง แต่ไม่เป็นที่แพร่หลาย เพราะมีเสถียรภาพไม่ดี (คุณสมบัติเปลี่ยนไปเมื่อผ่านการใช้งานไปแล้ว) แต่มีข้อดีคือ มีความแข็งแรง (Strength) สูงกว่าแบบอื่นๆ สามารถทนอุณหภูมิได้สูง

อาร์ทีดีแบบแพลทินัม 100 โอห์ม จะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์ม ต่อ 1°C ในการใช้งานปกติมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Current Source) 1 mA จ่ายให้แก่อาร์ทีดีอยู่ทุก ๆ 1°C ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดค่าโวลเตจเปลี่ยนแปลง 0.385 mV ซึ่งมากกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ถึง 10 เท่า ดังนั้น ที่สัญญาณรบกวนค่าเดียวกันจะมีผลต่ออาร์ทีดีน้อยกว่าเทอร์โมคัปเปิล





ภาพที่ 2.14 อัตราส่วนของความต้านทานของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดีเทียบกับค่าความต้านทานของมันที่ 0°C

ความผิดพลาดอันเกิดจากกระแสที่จ่ายให้แก่อาร์ทีดี (Self Heating) อาร์ทีดี จำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงตัวเองอยู่จำนวนหนึ่ง ถ้ามีค่ามากขึ้นเอาต์พุต โวลเตจก็จะสูงขึ้น แต่ กระแสจำนวนนี้ก็สร้างความร้อนขึ้นในตัวอาร์ทีดีเองด้วย

$$\text{พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น} = I^2 R \quad (2.9)$$

เมื่อ I คือ กระแสที่จ่ายให้แก่อาร์ทีดี และ R คือ ค่าความต้านทานของอาร์ทีดี ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัด ค่ากระแสนี้มิให้สูงเกินไป โดยปกติ อาร์ทีดีแบบแพลทินัมจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้น $1/2^{\circ}\text{C}$ ต่อ ค่ากระแสที่จ่ายให้ 1 มิลลิแอมป์ในบรรยากาศปกติ (ไม่มีกระแสไหล) แต่ในสภาวะการใช้งานที่ต้องจุ่ม ลงไปในของเหลว ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะกระจายลงสู่ของเหลว ทำให้ค่าผิดพลาดนี้ต่ำลง ทั้งนี้

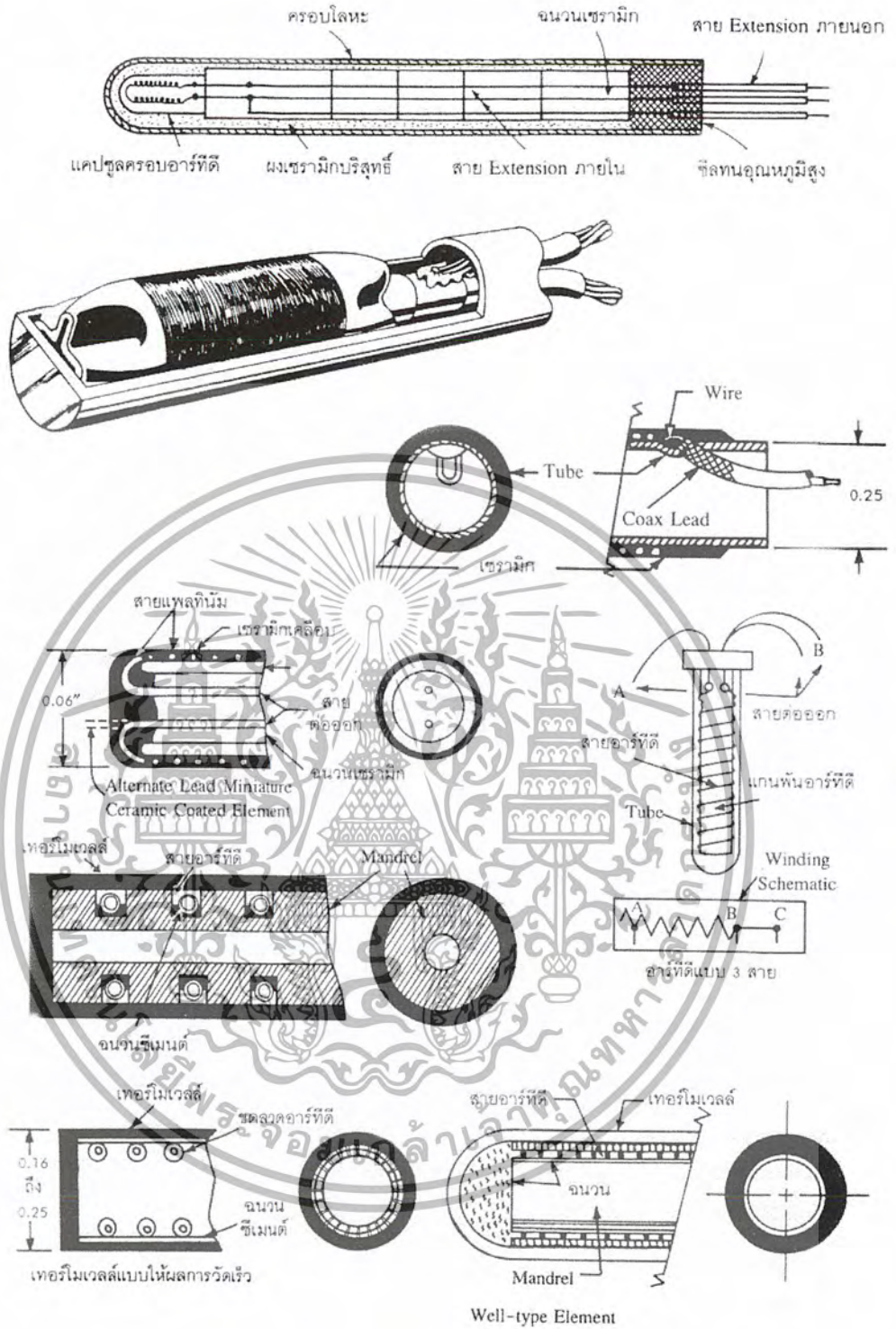
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหลและความหนาแน่นของตัวกลาง อาจลดลงถึง 1/5 ของค่าความผิดพลาดในบรรยากาศปกติ

2.3.2.3 โครงสร้างของอาร์ทีดี

อาร์ทีดี ทำด้วยลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว เช่น อะลูมินาบริสุทธิ์, สารที่เจือปนอยู่ (Impurities) เช่น ซิลิกาจะทำให้เส้นลวดความต้านทานสกปรก (Contaminate) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิตคือ ขณะใช้งาน ขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความสั่นสะเทือนได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัว เมื่อเย็นตัวลงจะหดตัว แกนที่ใช้พันจะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดจะทำให้ขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการอบร้อนคลายความเครียดที่มีอยู่ในขดลวด (Stress Relieve) ด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า 500°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สภาพภายนอกของอาร์ทีดีเหมือนเทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดีจะถูกบรรจุอยู่ใน Sheath (ฝักโลหะ) ตามภาพที่ 2.15 เป็นภาพตัดและขยายให้เห็นส่วนประกอบของอาร์ทีดี ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรง (Sensitive Portion) อยู่ตรงส่วนปลายของ Sheath อาจยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ของขดลวด การเลือก Metal Sheath, ฉนวน, เทอร์โมเวลล์ เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล





ภาพที่ 2.15 ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของอาร์ทิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 วงจรการต่อใช้งานของอาร์ทีดี

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ "วีธสโตน บริดจ์" (Wheatstone Bridge) ให้ "X" คือ ตัวอาร์ทีดี ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ รีซิสเตอร์ประกอบอีก 3 ตัวคือ A, B และ C อยู่ในทรานสมิตเตอร์ในอุณหภูมิบรรยากาศ รีซิสเตอร์ A, B และ C ที่ใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องสูง, ค่า Drift (ความต้านทานเปลี่ยนค่าไปเองเมื่อใช้ไปนาน ๆ) ต่ำมาก [1]

วงจรบริดจ์นี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0°C ซึ่งจะทำให้ อัตราส่วน $\frac{X}{C} = \frac{A}{B}$ ถ้าวานอิมิตอร์จะชี้ที่ 0°C วงจรนี้ใช้ได้เมื่อตัวทรานสมิตเตอร์อยู่ใกล้กับตัวอาร์ทีดีมาก ๆ เท่านั้น เพราะถ้าสายยาวค่าผิดพลาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของสาย ค่าผิดพลาดนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของสายตัวนำจากอาร์ทีดีและอุณหภูมิของสายตัวนำนี้ ถ้ามีค่ามากขึ้นค่าผิดพลาดก็จะสูงขึ้น วงจรแบบสองสายจึงเหมาะสำหรับการวัดที่ต้องการความถูกต้องสูงนัก

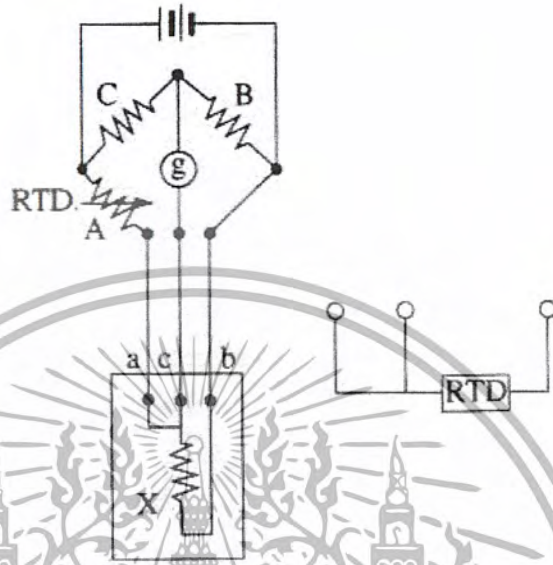


ภาพที่ 2.16 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี

วงจรอาร์ทีดีแบบ 3 สาย เป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป สายทั้งสาม a, b และ c จากอาร์ทีดีที่ต่อเข้าวงจรบริดจ์จะต้องมีขนาด ความยาว เท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด เพื่อให้ค่าความต้านทานของทั้งสามสาย เปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

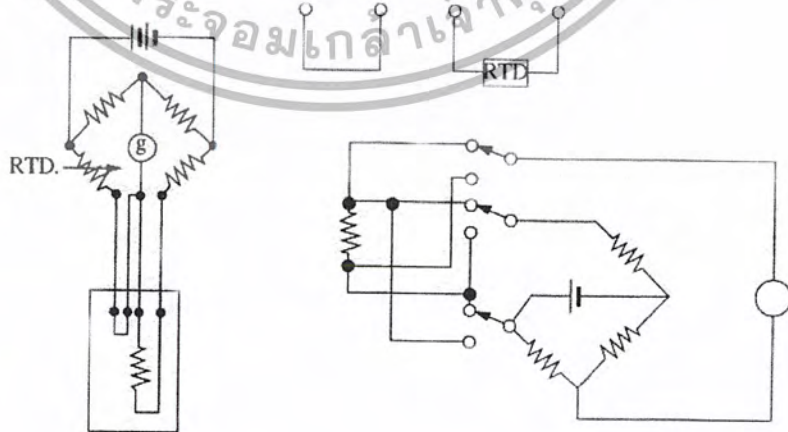
$$X = \frac{C}{B} A \text{ ให้ } B = C \quad (2.10)$$

เนื่องจาก $a = b = c$, $X + b$ จึงเท่ากับ $A + a$ ค่าอุณหภูมิของการวัดจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี “X” เพียงตัวเดียว วงจรการวัดแบบ 3 สายนี้เป็นแบบที่ให้ความถูกต้องสูง (ปกติจะออกแบบให้เท่ากัน)



ภาพที่ 2.17 วงจรการต่ออาร์ทีดี 3 สาย

วงจรการวัดแบบ 4 สาย เป็นแบบที่เลื่อนจุดต่อของบริดจ์ (Bridge Point) ไปอยู่ภายนอก สายที่ต่อจากอาร์ทีดีทั้ง 4 เส้นจะต้องมีขนาด ความยาวเท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนวงจรการวัดแบบ 3 สาย วิธีนี้ให้ความถูกต้องสูงกว่า



ภาพที่ 2.18 วงจรการต่ออาร์ทีดี 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการวัดแบบ 4 สายแบบที่ 2 ใช้ในกรณีที่ต้องการความถูกต้องสูงสุด ต้องการทราบค่าอุณหภูมิเป็นจุด ๆ ไม่ต้องการวัดค่าแบบต่อเนื่อง เช่น ในห้องปฏิบัติการ ลักษณะการต่อวงจรเป็นแบบ 3 สายมีสวิตช์สำหรับโยกสลับสายเพื่อหาค่าเฉลี่ย ในการวัดครั้งหนึ่ง ๆ ต้องทำการอ่านค่า 2 ครั้งตามตำแหน่งสวิตช์ ค่าความต้านทานของอาร์ทีดีเป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ทั้งสองครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากวิธีการวัดแบบ 3 สาย เนื่องจากค่าความต้านทานของสายอาจไม่เท่ากันได้ เช่น ตำแหน่งบนอ่านได้ 250.17°C และตำแหน่งล่างอ่านได้ 250.16°C เป็นต้น และสิ่งที่ต้องระมัดระวังในการวัดด้วยวิธีนี้คือ จุดต่อหรือหน้าคอนแทก ทุกจุดจะต้องมั่นใจว่า แน่นสนิท สะอาดปราศจากออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แน่นอน และกัลวานอมิเตอร์ที่ใช้จะต้องเป็นแบบอิมพีแดนซ์สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

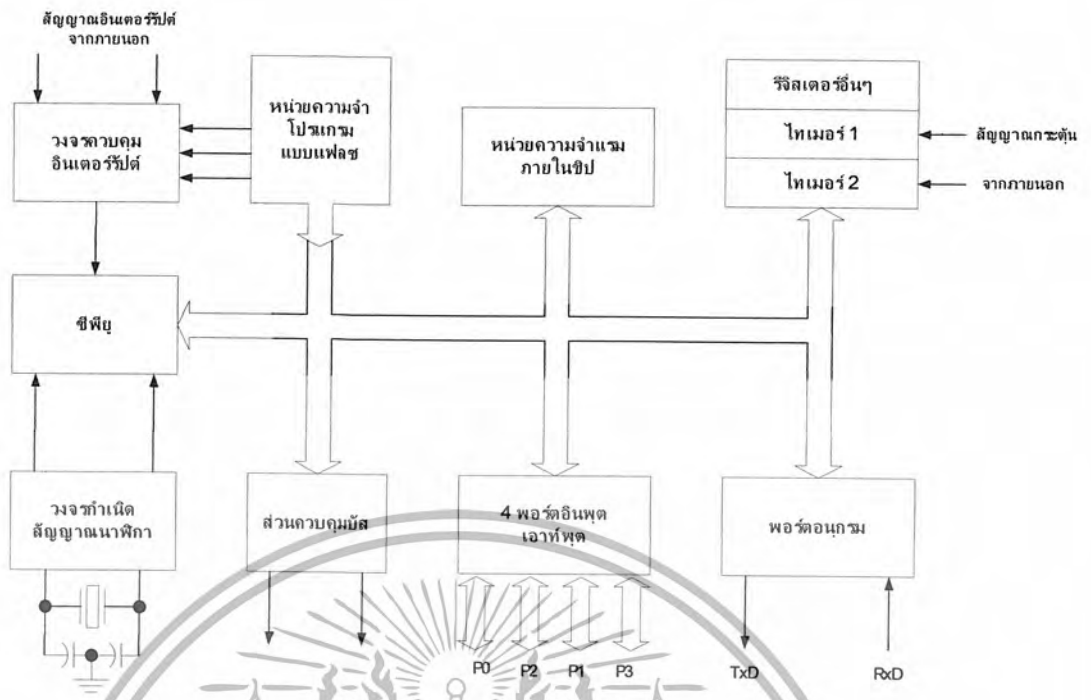
3.1 กล่าวนำ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ Time-Proportional จัดเป็นเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล ทำงานโดยใช้ วงจรตรรก (Logic Circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม ดังนั้นจึงมีความ จำเป็นต้องศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และวิธีการเขียนโปรแกรม [5] เพื่อกำหนด ขั้นตอนการสร้างสัญญาณควบคุมให้กับเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 รุ่น AT89C51

- เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยข้อมูลความจำพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ตัวจับเวลา (Timer)/ตัวนับ (Counter) ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89C51

ดังภาพที่ 3.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89C51 โครงสร้างจะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา

3.2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

- ขา Vcc (ขา 40) ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- ขา GND (ขา 20) เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

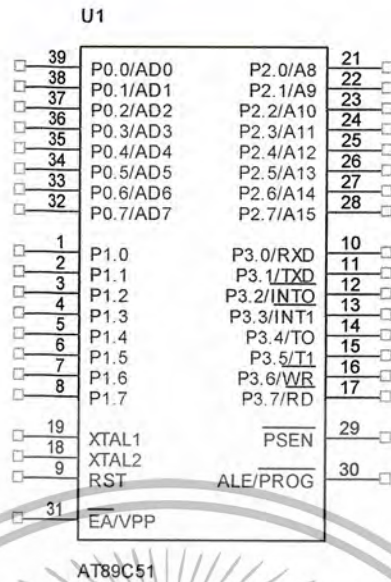
- ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) คือขา 32-39 มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้ระบบการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

- ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา คือขา 1-8 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย

- ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา คือขา 21-28 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมี สถานะปล่อยลอย(float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้อย่างถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

- ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา คือขา 1-8 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมี สถานะปล่อยลอย(float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

- P3.0 หรือ ขา \overline{RxD} ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม
- P3.1 หรือ ขา \overline{TxD} ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม
- P3.2 หรือ ขา $\overline{INT0}$ ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0
- P3.3 หรือ ขา $\overline{INT1}$ ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1
- P3.4 หรือ ขา $\overline{T0}$ ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0
- P3.5 หรือ ขา $\overline{T1}$ ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1
- P3.6 หรือ ขา \overline{WR} ใช้เป็นขาสัญญาณในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 หรือ ขา \overline{RD} ใช้เป็นขาสัญญาณในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก



ภาพที่ 3.2 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C51

- ขา รีเซ็ต (Reset) หรือขา 9 ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

- ขา ALE / PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) หรือขา 30 เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการ โปรแกรมสำหรับ โปรแกรมสำหรับ โปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

- ขา PSEN (Program Store Enable) หรือขา 29 ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขา 29 นี้ 2 ครั้ง ในแต่ละแมกซีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีสัญญาณใดๆ ออกมา

- ขา EA / Vpp (External Access enable/Programming voltage input) หรือขา 31 ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น "1" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขา 31 นี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับกรโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

-ขา XTAL1 หรือ ขา 19 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

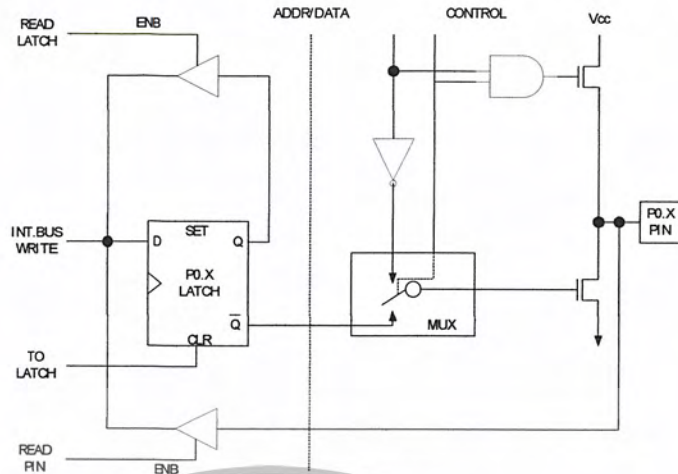
-ขา XTAL2 หรือ ขา 18 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงแลตซ์และวงจรขับตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขาออกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก

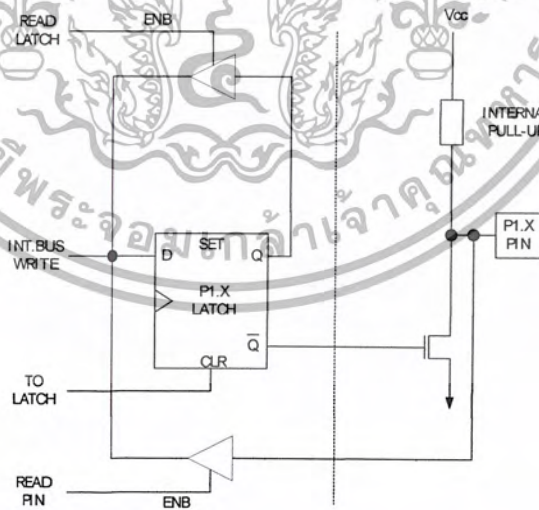
วงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยในภาพที่ 3.3 เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตซ์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟลอปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตซ์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นก็คือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรแลตซ์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของดีฟลิปฟลอปในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมาทางขาบั๊สข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟลอป ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุต เอาต์พุตปกติ หรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของพอร์ต 0 (บิต)

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรถูกอัปภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ต อินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานถูกลับภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

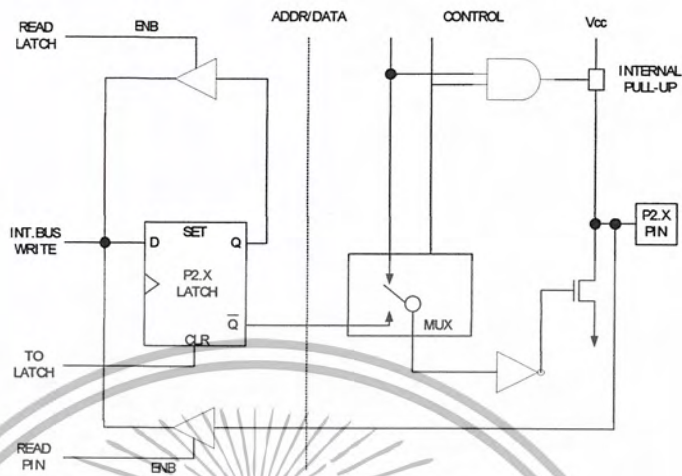
วงจรดังภาพที่ 3.4 เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรถูกอัปภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)

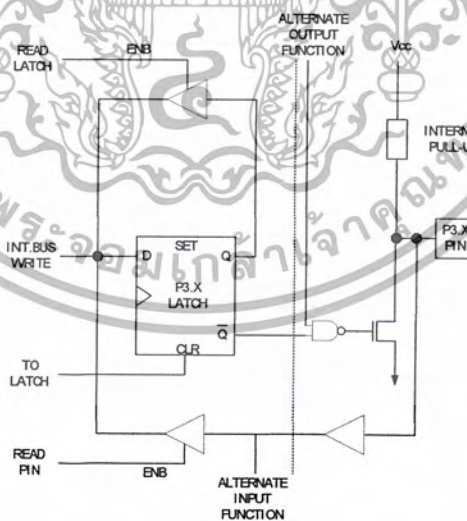
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรง่ายที่ 3.5 เป็นวงจรง่ายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมี วงจรพูลอัปเพิ่มเติมเข้ามา



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)

ส่วนภาพที่ 3.6 เป็นวงจรง่ายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติม วงจรบัฟเฟอร์และวงจรมัลติเพลกซ์ที่ทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถ นำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของแฟลชที่ใช้ในการจับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสถานะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด

3.2.5 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรถัก ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟล ทำให้เฟลทำงานที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรถัก วงจรขับก็จะหยุดทำงานทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีกรอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตแต่ละขาของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงต้องวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

3.2.6 หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลช

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบแฟลชมีหน่วยความจำภายในหลักๆอยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งก็มีขนาดและการจัดสรรแตกต่างกันไป

3.2.6.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟลช เบอร์ AT89C51 ที่แสดงดังภาพที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าจะสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้ สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับ ภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยภายใน AT89C51 จะมี หน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์

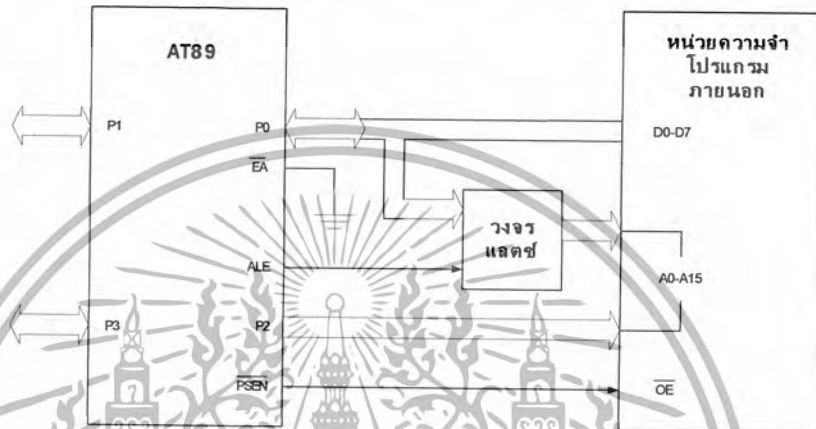


ภาพที่ 3.7 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของ โปรแกรมควบคุมการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) หากใช้หน่วยความจำ ภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม หรือ EPROM ซึ่งสามารถอ่านได้เพียงอย่าง เดียว โดยมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการริเซตให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องมา เริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าใช้งานจากภายใน หรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
 พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
 พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H
 พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
 พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H
 พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH



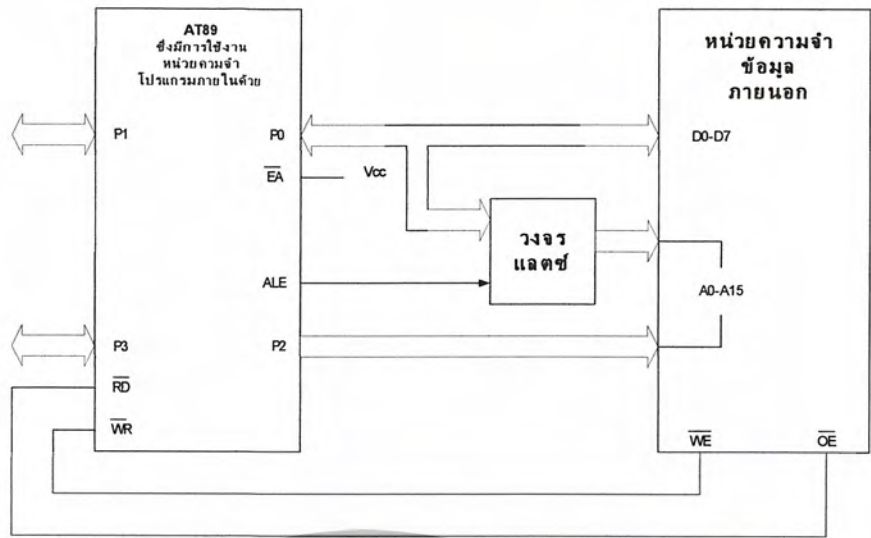
ภาพที่ 3.8 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช

กรณีที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกด้วย สามารถทำได้โดยต้องกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 0000H-0FFFH เมื่อต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องกำหนดให้แอดเดรสอยู่ในช่วง 1000H-FFFFH

3.2.6.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

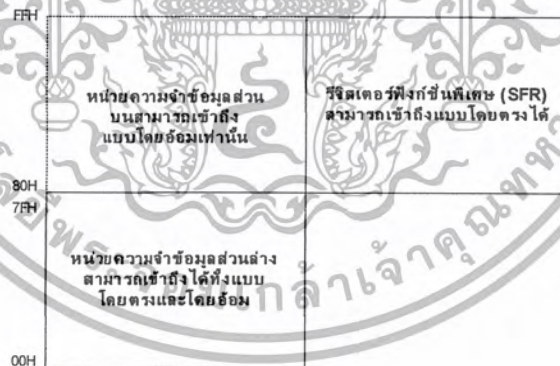
มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชแสดงดังภาพที่ 3.9 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมนอก แตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชจะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม โดยในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower), ส่วนบน (upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษแต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงการจัดสรรดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

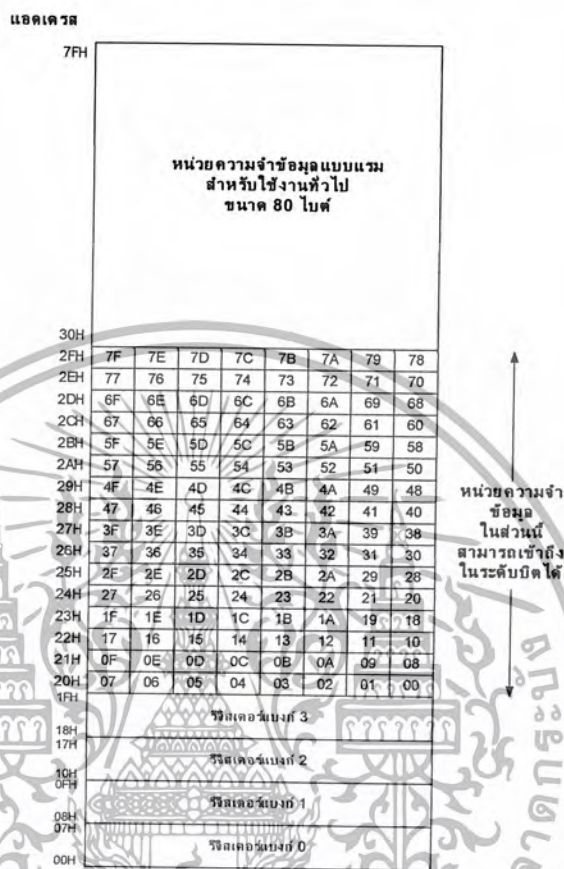
ขนาดของหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่ด้วยการจัดการเข้าถึงที่แตกต่างกันจึงดูเหมือนว่าจะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสูงถึง 384 ไบต์ โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาด 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H-7FH สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและโดยอ้อม สำหรับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนมีขนาด 128 ไบต์ เช่นกันมีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH สามารถเข้าถึงแบบโดยอ้อมเท่านั้น ในขณะที่รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH เช่นเดียวกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน แต่สำหรับรีจิสเตอร์ SFR ใช้การเข้าถึงแบบโดยตรง การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างดังภาพที่ 3.11 หน่วยความจำ 32 ไบต์ต่ำสุดที่แอดเดรส 00H-1FH แบ่งเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า 4 แบนก์ (bank) แต่ละแบนก์มีรีจิสเตอร์ 8 ตัวคือ R0-R7 การติดต่อกับหน่วยความจำในแบนก์ใดให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ PSW หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ถัดมาที่แอดเดรส 20H-2FH เป็นพื้นที่สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต และหน่วยความจำข้อมูลที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งส่วนหนึ่งสำรองไว้เป็นพื้นที่ของสแต็ก (stack: ที่พักข้อมูลชั่วคราวในกรณีที่ซอฟต์แวร์มีการกระโดดไปทำงานในโปรแกรมย่อย) การเข้าถึงหน่วยความจำในส่วนนี้ต้องใช้การเข้าถึงในระดับไบต์



ภาพที่ 3.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนแสดงดังภาพที่ 3.12 ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หากแต่ใน 80 ไบต์บนไม่จำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับสแต็ก และต้องให้การเข้าถึงในลักษณะโดยอ้อมเท่านั้น



ภาพที่ 3.12 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบเฟลช

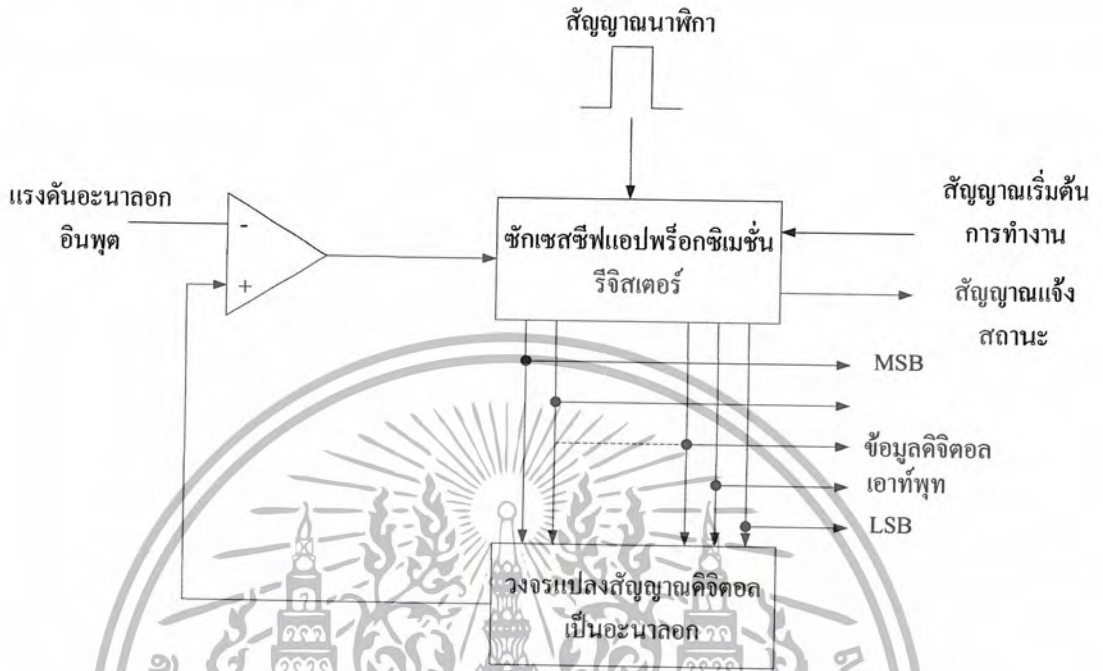
3.3 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I²C เบอร์ PCF8591

3.3.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ Successive Approximation

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) [5] ที่ได้รับความนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือ การแปลง Successive Approximation ไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้ก็ใช้วงจร ADC แบบเดียวกันนี้ จึงต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของวงจร ADC แบบนี้ก่อน อาจเรียกกระบวนการ ADC แบบ Successive Approximation ว่าเป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง โค้ดแอมการดำเนินงานแสดงในภาพที่ 3.13 ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกหรือ DAC, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ADC แบบ Successive Approximation นี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิทัลของวงจร DAC ภายใน แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตและรีเซต โดยการควบคุมจากวงจรควบคุม



ภาพที่ 3.13 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบ Successive Approximation

ดังนั้นถ้าหาก ADC แบบ Successive Approximation ขนาด 4 บิต ตามตัวอย่างที่อธิบายมานี้ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 kHz เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

1. จำนวนคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา

$$f_{clk} = 50\text{kHz} = 50 \times 10^3 \tag{3.1}$$

$$T = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20 \text{ msec} \tag{3.2}$$

2. จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ $n+1$, n มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวน 4 บิต ดังนั้นจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ $4+1 = 5$

3. เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ $5 \times 20 = 100$ มิลลิวินาที ซึ่งจะเห็นว่าวงจร ADC แบบ Successive Approximation มีความเร็วในการทำงานสูงพอสมควรเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกลางอย่าง MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

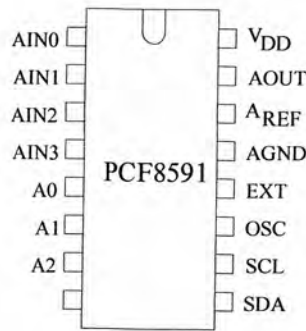
3.3.2 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรที่จะเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันอนาล็อกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000 V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804 V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5 mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวแบบนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางที่เรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm 1/2\text{LSB}$

3.3.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบ Successive Approximation ขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่องด้วย ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5V ถึง 6V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
- เลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณอนาล็อกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ไปจนถึง V_{DD}
- วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นแบบ Successive Approximation ขนาด 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกขนาด 8 บิต 1 ช่อง



ภาพที่ 3.14 การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I²C เบอร์ PCF8591

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงในภาพที่ 3.14 ส่วนรายละเอียดตำแหน่งขาต่างๆ มีดังนี้

- ขา AN0-AN3 (ขา 1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงค่า
- ขา A0-A2 (ขา 5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว
- ขา V_{SS} (ขา 8) เป็นขากราวด์
- ขา SDA, SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาเชื่อมต่อบัส I²C
- ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์
- ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์ จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน
- ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์
- ขา V_{REF} (ขา 14) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V
- ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก
- ขา V_{DD} (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6V ปกติใช้ +5V

3.3.4 รายละเอียดฟังก์ชันต่าง ๆ ของ PCF8591

3.3.4.1 ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I²C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้น ๆ

3.3.4.2 ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในภาพที่ 3.15

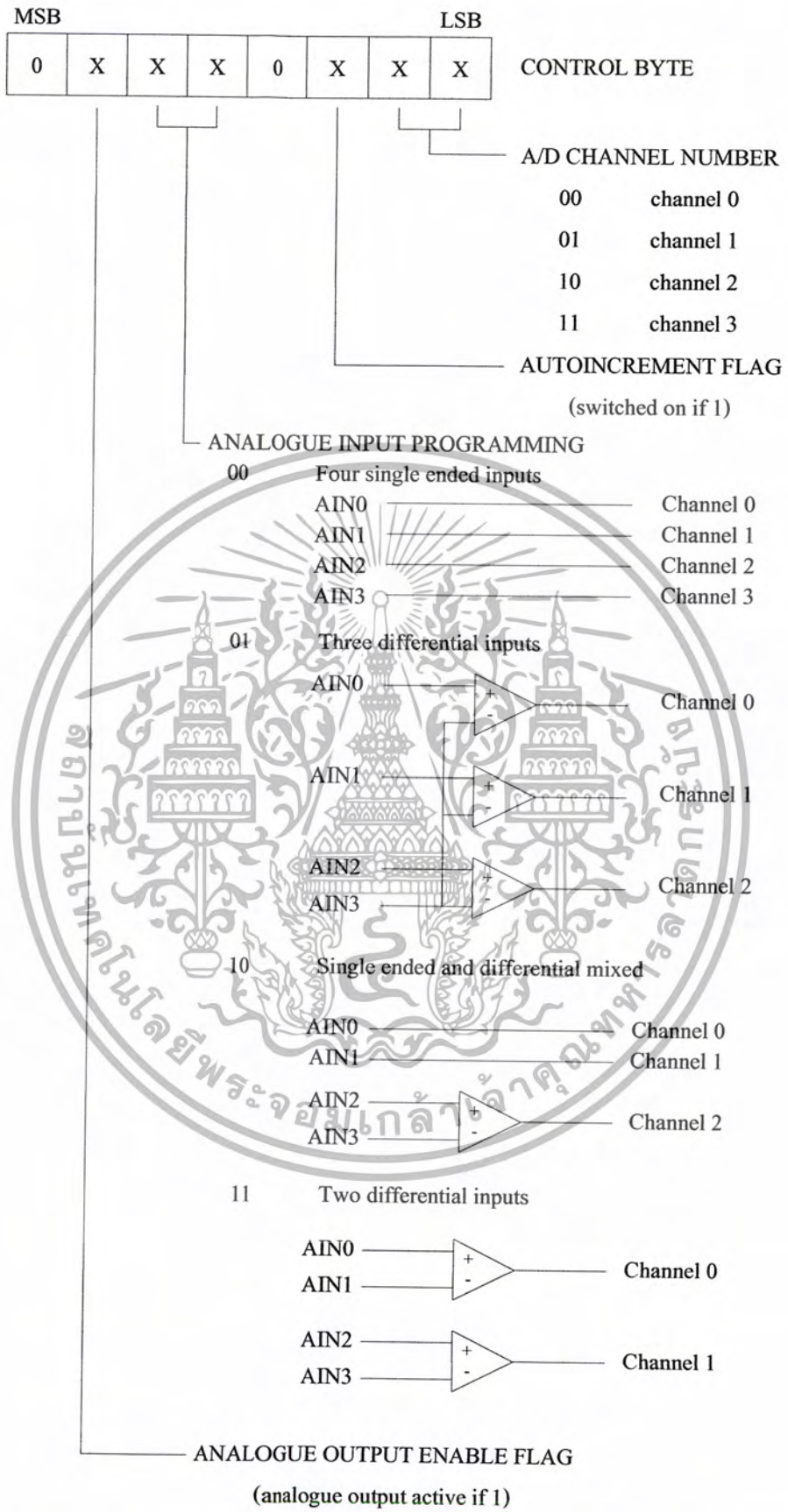
- บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการเอ็นเอเบิลขาอนาล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการเอ็นเอเบิลต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1"

- บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

- บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1"

- บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอนาล็อกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น "1" หลังจากอ่านค่าของบิต "0" และบิต "1" แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591 เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่าง ๆ ของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น "0"

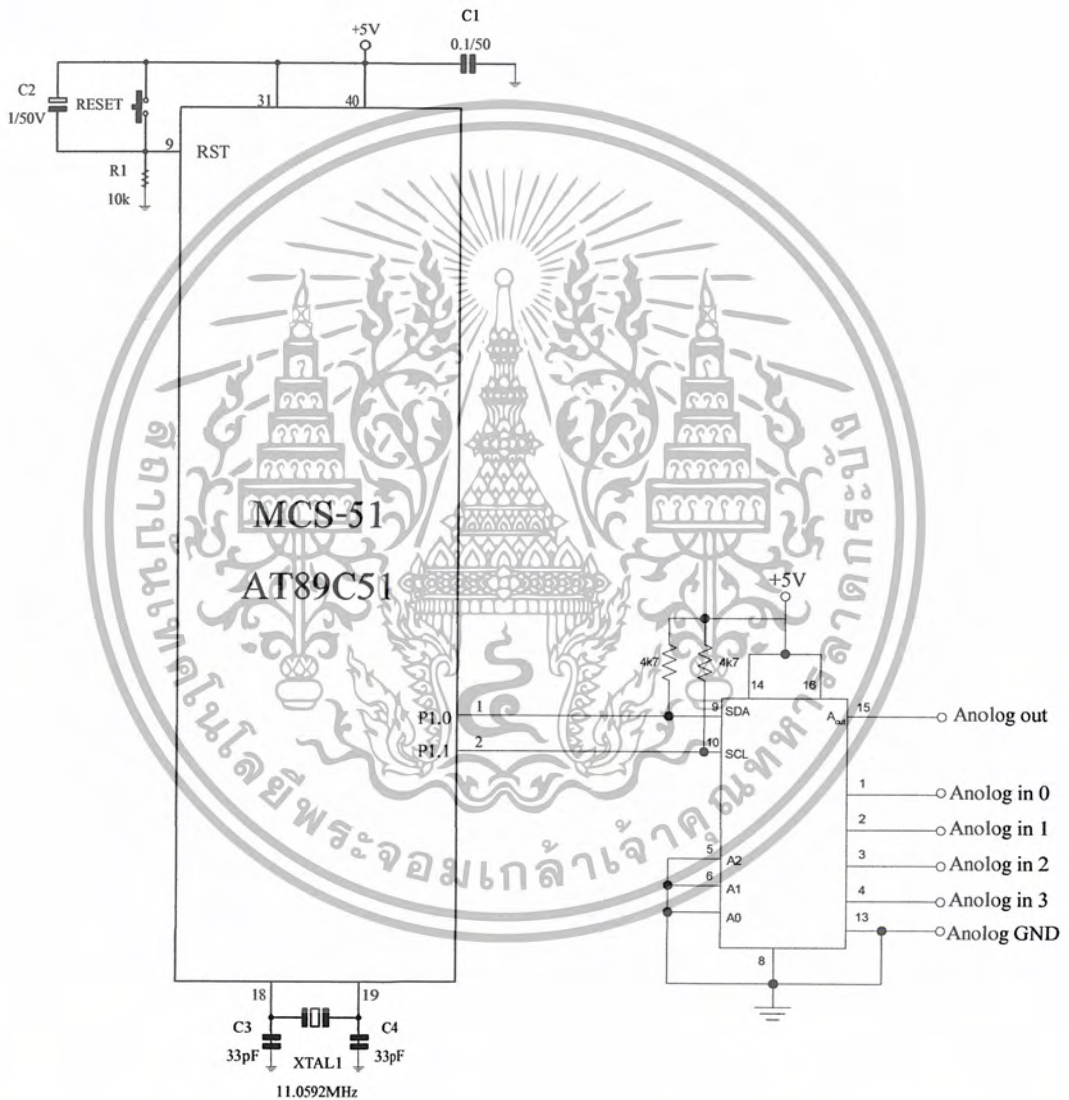


ภาพที่ 3.15 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

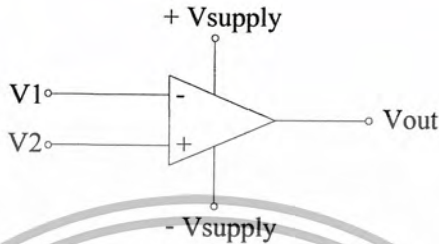


ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

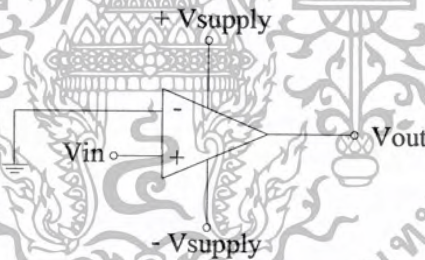
3.4 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

วงจรเปรียบเทียบ คือวงจรที่เราใช้ในการตรวจสอบ voltage ของ input หนึ่งว่ามีขนาดสูงหรือต่ำกว่าอีก input หนึ่ง ดังภาพที่ 3.17 แสดงวงจรพื้นฐานของ comparator โดยการใช้ Op-Amp [6]-[7]



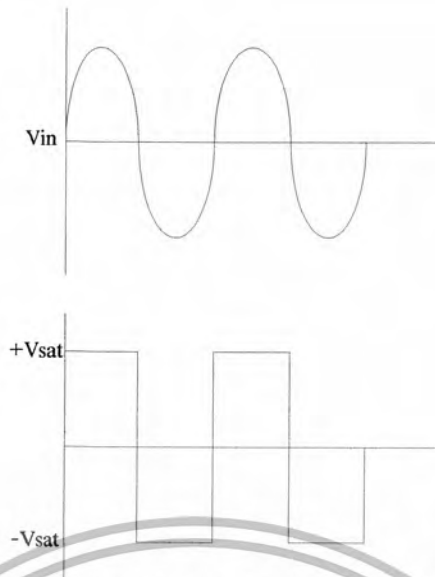
ภาพที่ 3.17 วงจรพื้นฐานของ comparator

ถ้าหากว่ามีการแตกต่างของ voltage ของ V1 และ V2 ในขณะใดๆ แล้ว จะทำให้ Op-Amp นั้นเกิดการทํางานในสถานะ situation ซึ่ง Vout ของ Op-Amp ก็จะมีเฟสตามความแตกต่างของ V1 และ V2



ภาพที่ 3.18 วงจรพื้นฐานของ comparator เมื่อเทียบกราวด์

ยกตัวอย่างเมื่อเราต้องการที่จะ detect สัญญาณที่เข้ามาทาง input ว่าเมื่อใดสัญญาณที่เข้ามา มี voltage ที่สูงกว่า 0 V ดังนั้นเราต้องนำ input ด้านหนึ่งต่อกับ 0 V ไว้เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิง ดังภาพที่ 3.18 ซึ่งใช้ขา inverting ของ Op-Amp ต่อกับ ground ส่วน non-inverting เป็นสัญญาณ Vin ที่เข้ามา

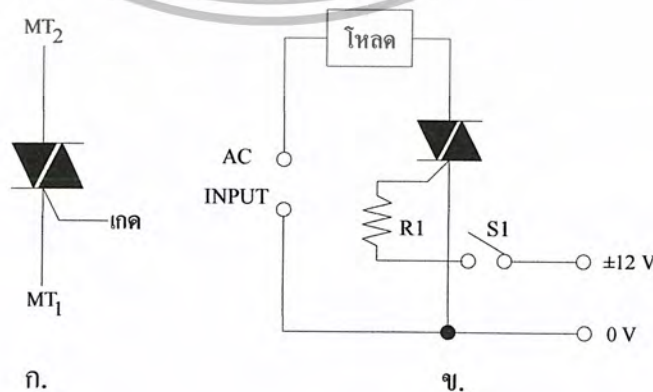


ภาพที่ 3.19 สัญญาณทางค่าน output ของวงจร comparator เมื่อ V_{in} มากกว่า $0V$

เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณ V_{in} ที่ขา non - inverting เข้ามามีแรงดันเป็นบวกมากกว่า $0V$ แรงดัน output ของ Op-Amp ก็จะมีแรงดัน $+V_{sat}$, ถ้าหากสัญญาณ V_{in} เข้ามาเป็นแรงดันด้านลบ output ของ Op-Amp ก็จะเป็น $-V_{sat}$ (ค่าของ V_{sat} จะมีค่าจำกัดโดยขึ้นกับค่า V_{supply} ที่จ่ายให้กับ Op-Amp)

3.5 ทฤษฎีพื้นฐานของไดรแอก

ลักษณะโครงสร้างของไดรแอกนี้เหมือนกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้ว ส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกัน [9] ดังนั้นไดรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรง และไฟสลับ นั่นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทรักที่เกตนั่นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทางเช่นกัน



ภาพที่ 3.20 (ก.) สัญลักษณ์ของไดรแอก

(ข.) การใช้งานพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารายวิชาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 3.20 (ก.) และ 3.20 (ข.) แสดงถึงสัญลักษณ์และการใช้งานแบบพื้นฐานของ ไตรแอก โดยทำหน้าที่คล้ายกับสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟสลับ โหลดจะถูกต่ออยู่ที่ขั้วด้านหนึ่ง ของ ไตรแอก ส่วนสวิตช์ S1 ใช้ป้องกันสัญญาณทริกให้เกด

3.5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไตรแอก

1. โดยปกติ ถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่เกด ไตรแอกจะไม่ทำงาน โดยจะมีลักษณะเหมือนกับ สวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร

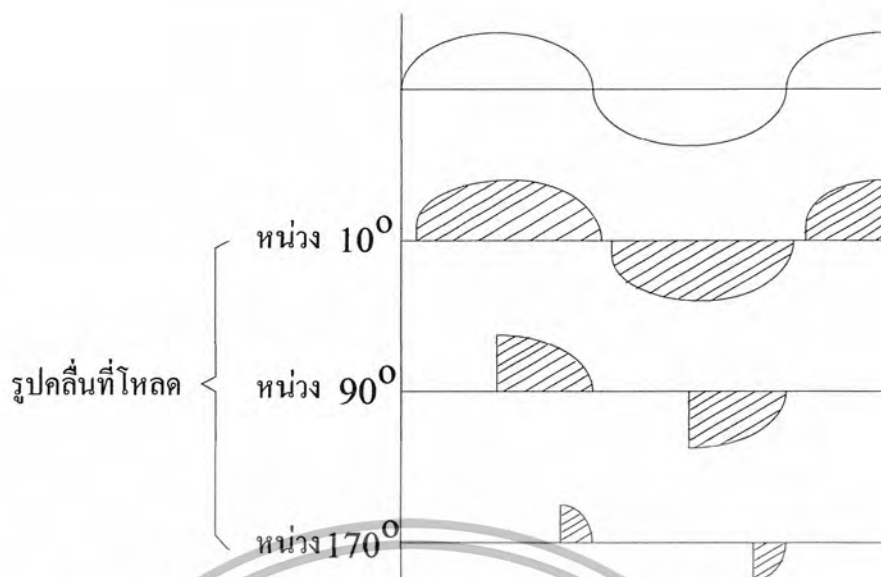
2. ถ้าในกรณีที่มี MT2 และ MT1 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับ ไตรแอกจะถูก กระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้น ๆ ที่เกดของมัน ไตรแอกใช้เวลาเพียง $2-3 \times 10^{-6}$ วินาทีเท่านั้นในการทำเริ่มทำงานในขณะที่ไตรแอกทำงานนั้น จะมีแรงดันตกคร่อม ตัวมัน มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไตรแอกเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง

3. หลังจากที่ไตรแอกคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดี้งของมัน ในกรณีที่ใช้ ไตรแอกในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้า ใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้น ทุก ๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์

4. ไตรแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกด โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT1 และ MT2 ดังนั้น การทำงานของไตรแอกนี้จะมีอยู่ 4 โหมด เมื่อเปรียบเทียบกับขั้วแรงดันที่ป้อนให้แก่ขาต่าง ๆ ของมัน ข้อแตกต่างเล็กน้อยของการทำงาน ในโหมดต่าง ๆ คือในกรณีของโหมดที่ขั้วแรงดันที่ให้แก่ขา MT2 และเกดเหมือนกัน (ทั้งบวกและลบ) จะทำให้มีค่าความไวที่เกดสูงขึ้น

5. ไตรแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่น โดยปกติสำหรับไตรแอกที่ทน กระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ (rms) สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟ 60 เฮิร์ตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

หลักการของวงจรที่มีลักษณะเป็นเฟส - ทริกเกอร์นี้ใช้ไตรแอกเป็นตัวควบคุมกำลังไฟที่จ่ายให้แก่โหลด โดยแทนที่จะทริกขาเกดด้วยสัญญาณไฟตรงนั้นตรง ๆ ก็ทริกโดยมีการหน่วงของเฟสด้วยวงจรอีกส่วนหนึ่ง



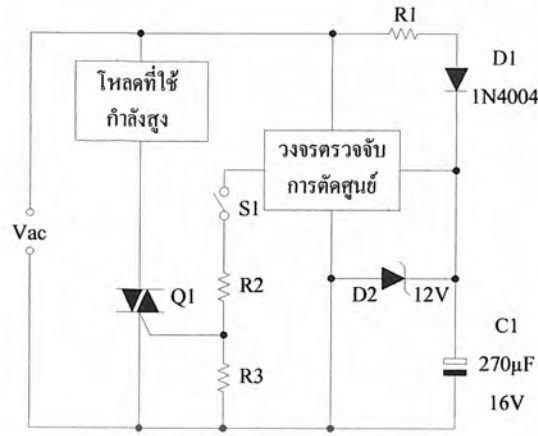
ภาพที่ 3.21 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไทรแอก

การหน่วงเฟสมีผลดังนี้คือ ถ้าไทรแอกถูกทริกที่ตำแหน่งเฟส 10 องศาหลังจากที่ทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเริ่มเข้ามา กำลังไฟเกือบทั้งหมดก็จะถูกป้อนให้แก่โหลด แต่ถ้าการทริกที่ตำแหน่งเฟส 90 องศา หลังจากทุก ๆ ครึ่งคลื่นเริ่มเข้ามา จะทำให้กำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดนั้น ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังทั้งหมด และถ้าไปทริกที่ตำแหน่งเฟส 170 องศา หลังจากทีทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเข้ามาแล้ว จะมีเพียงกำลังไฟส่วนน้อยเท่านั้นที่ป้อนให้แก่โหลด ขอให้ดูภาพที่ 3.21 ประกอบจะเข้าใจได้ยิ่งขึ้น

มีหลาย ๆ วิธีที่สามารถควบคุมตำแหน่งเฟสที่ต้องการทริก แต่ที่นิยมกันมากมีอยู่ 3 วิธีคือ การใช้ UJT, ไอซีที่สร้างขึ้นเพื่อทำงานนี้โดยเฉพาะหรือ ไดแอก (Diac) ร่วมกับวงจรถั่วต้านทานและตัวเก็บประจุ แต่โดยทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ไดแอก

3.5.2 เทคนิคการใช้จุดตัดศูนย์ (Zero-Crossing)

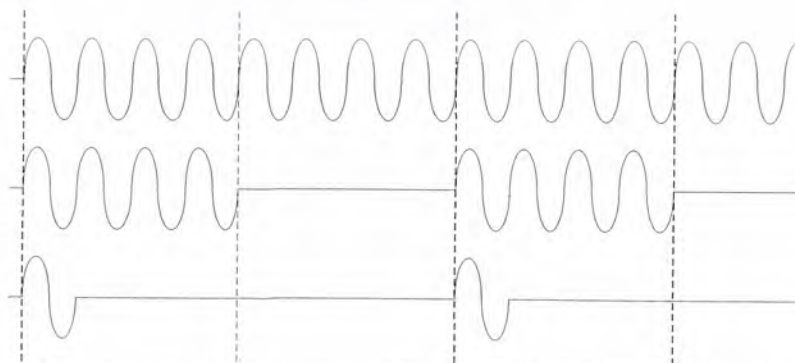
ในกรณีของโหลดที่ต้องการกำลังไฟสูง เช่นตัวกำเนิดความร้อนที่ใช้ไฟฟ้าโดยใช้ไทรแอกควบคุมการทำงาน จำเป็นจะต้องใช้เทคนิคพิเศษในการลดค่าของสัญญาณรบกวนนี้ ถ้ากรณีที่ใช้ไทรแอกทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด / ปิดการทำงานเท่านี้ ผลของสัญญาณรบกวนจะเกิดขึ้นทุก ๆ ครั้งที่มีการปิดวงจรสวิตช์ให้ระบบเริ่มทำงาน และผลนี้จะมีค่ามากที่สุด ถ้าในขณะที่เปิดระบบให้ทำงานในช่วงจังหวะที่มีเฟสเป็น 90 องศาพอดี สัญญาณรบกวนนี้จะลดลงได้โดยใช้เทคนิคของจุดตัดศูนย์เข้าช่วย ดังแสดงไว้ในวงจรภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 การใช้ตัวตรวจับการตัดศูนย์เป็นตัวทริกไตรแอกเพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนให้ต่ำที่สุด

จากภาพที่ 3.22 จะเห็นได้ว่า R1, D1, D2 และ C1 ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟตรง 12 โวลต์ที่ป้อนให้แก่วงจรตรวจับการตัดศูนย์ ซึ่งจะต่อโดยตรงอยู่กับไฟสลับวงจร ตรวจับการตัดศูนย์นั้นสามารถสร้างขึ้นได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์หลาย ๆ ตัว โดยจะไม่ขอกกล่าวถึงในที่นี้ วงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อทริกขาเกตของไตรแอก ในขณะที่สัญญาณไฟสลับที่ทำให้มีการตัดศูนย์เกิดขึ้นทุกครั้ง ดังนั้นการทริกจะเกิดขึ้นในจังหวะที่เฟสของสัญญาณไฟสลับเป็น 0 องศาเท่านั้น จึงทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด

เทคนิคการใช้จุดตัดศูนย์นี้ ใช้กับวงจรที่ต้องการปรับค่ากำลังไฟที่จะป้อนให้แก่โหมลได้เพื่อลดค่าของสัญญาณรบกวนลงได้เช่นกัน โดยเปลี่ยนสวิตช์ S1 ในภาพที่ 3.22 ไปเป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ที่สามารถปรับอัตราส่วนของช่วงสัญญาณ ที่มีลูกคลื่นกับช่วงเว้นว่างได้ ดังนั้นโหมลจะได้รับไฟสลับเป็นช่วง ๆ ไป นั่นคืออาจจะได้รับ 4 ลูกคลื่นและเว้นไปอีก 4 ลูกคลื่นสลับกันเช่นนี้เรื่อย ๆ แต่ลูกคลื่นแต่ละลูกที่ได้รับจะเต็มลูกคลื่นเสมอ



ภาพที่ 3.23 ตัวอย่างการแบ่งคาบเวลาการจ่ายไฟสลับให้แก่โหมลเป็นช่วง ๆ

โดยมีความยาวช่วงละ 8 ลูกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายิ่งเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 3.23 แสดงลักษณะของไฟสลัที่ป้อนให้แก่โหลดในวิธีนี้ โดยในที่นี้จะแบ่งคาบเวลาของการจ่ายไฟสลัทั้งหมดเป็นช่วง ๆ ที่เท่า ๆ กัน ในแต่ละช่วงมี 8 ลูกคลื่น ถ้าใครถูกถูกริกให้นำกระแสเพียง 4 ลูกคลื่นและไม่นำกระแส 4 ลูกคลื่น นั่นก็หมายความว่าโหลดจะได้รับกำลังไฟเพียงครึ่งหนึ่งของไฟสลัทั้งหมด และถ้าถูกกำหนดให้ใครเอก นำกระแสเพียงลูกคลื่นเดียวส่วนอีก 7 ลูกคลื่นไม่นำกระแส ก็หมายความว่าโหลดจะได้รับกำลังไฟเพียง 1 ใน 8 ส่วนเท่านั้น แต่ขอให้สังเกตว่าจังหวะของการถูกริกให้ใครเอกเริ่มมีเฟส 0 องศาเท่านั้นซึ่งก็จะเป็นการลดผลของสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นได้ ในขณะที่เดียวกันเราก็สามารถควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดได้ตามต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

แบบ Time-Proportional

4.1 กล่าวนำ

ระบบควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมอัตโนมัติ โดยจะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาค่าความแตกต่าง (ค่าความคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าของอินพุตอ้างอิง (ค่าที่ต้องการ) จากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมอัตโนมัตินี้จะเรียกว่า กรียาควบคุม (Control Action) [3]

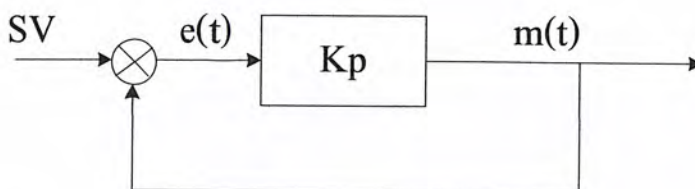
ตัวควบคุมอัตโนมัติแบบ Time-Proportional จะมีกรียาควบคุมแบบ Proportional เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม (หรือเอาต์พุตของตัวควบคุม) $m(t)$ กับสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

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

(4.1)

เมื่อ $M(t)$ คือ สัญญาณควบคุม
 $e(t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน
 K_p คือ Proportional Gain

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain ดังนั้นตัวควบคุมแบบ Proportional จึงต้องเป็นแอมพลิฟายที่สามารถปรับค่าของ Gain ได้



ภาพที่ 4.1 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

4.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (Flash Memory) ของ Atmel Corporation เบอร์ AT89C51 ซึ่งสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์



ภาพที่ 4.2 ลักษณะไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ของ Atmel

4.2.2 คีย์บอร์ด

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยต่อสวิตช์เข้ากับกราวด์โดยตรง ในสภาวะปกติจะเป็นสภาวะลอยของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่เมื่อสวิตช์ถูกกดก็จะเกิดลจิก ศูนย์ที่ขาไมโครคอนโทรลเลอร์

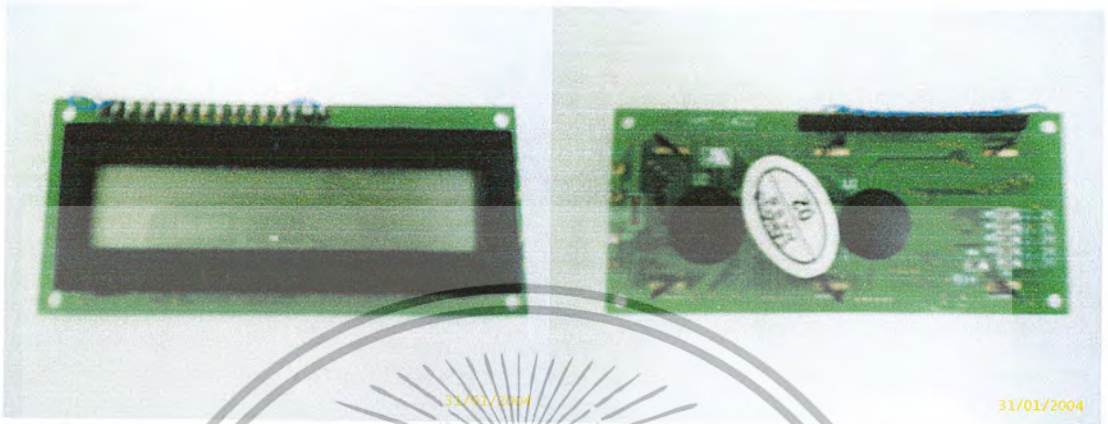


ภาพที่ 4.3 รูปแบบการต่อสวิตช์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลจะเป็นจอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด โดยการทำงานจะรับค่าจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดงผล ประกอบด้วยค่า Setpoint, Gain, Process Variable



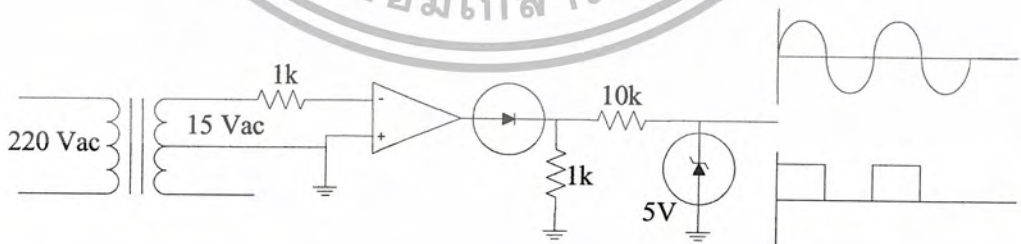
ภาพที่ 4.4 จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

4.2.4 วงจรตัดศูนย์ (Zero-Crossing)

วงจรตัดศูนย์ทำหน้าที่ Synchronize กับแหล่งจ่ายไฟสลับ โดยจะทำงานเป็นตัวกำหนดคาบเวลาในการเปิด-ปิดการทำงานของขดลวดความร้อน โดยสัญญาณที่ได้จะเข้าที่ขาอินเตอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และนับจำนวนลูกคลื่น โดยในที่นี้จะให้ 1 คาบเวลาเท่ากับ 10 ลูกคลื่นชาชน

$$T (\text{Time Base}) = 10 \text{ Cycles}$$

(4.2)

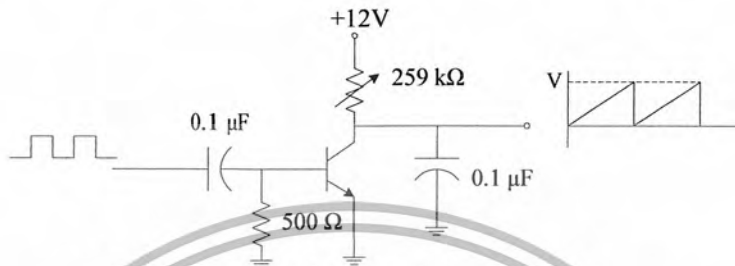


ภาพที่ 4.5 วงจร Zero-Crossing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

สัญญาณฟันเลื่อยเป็นสัญญาณที่มีคาบเวลาที่แน่นอน กำหนดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะของสัญญาณฟันเลื่อยจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับเวลา คือ ระดับแรงดันจะเพิ่มขึ้นจาก 0 จนถึงระดับ V ดังแสดงในภาพที่ โดยสร้างได้จากการ Charge และ Discharge ของตัวเก็บประจุ โดยมีค่าเวลาคงตัว (Time Constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ RC ที่เหมาะสม



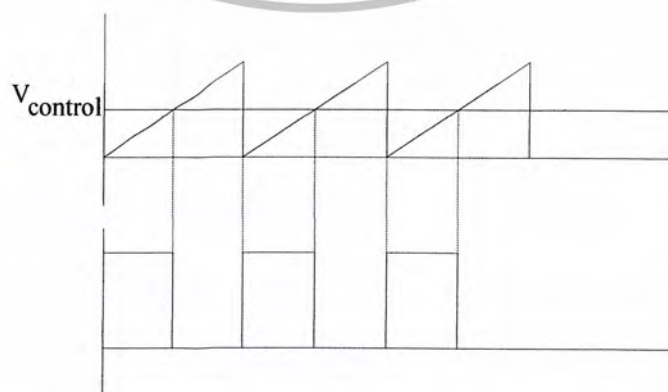
ภาพที่ 4.6 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

4.2.6 วงจรจุดชนวน

สัญญาณควบคุมที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก จะมีระดับแรงดันตั้งแต่ 0 - 5V ตามค่าความผิดพลาด (Error) หรือ $e(t)$ คูณกับค่าของอัตราขยาย (K_p) ที่ตั้งไว้ตามสมการ

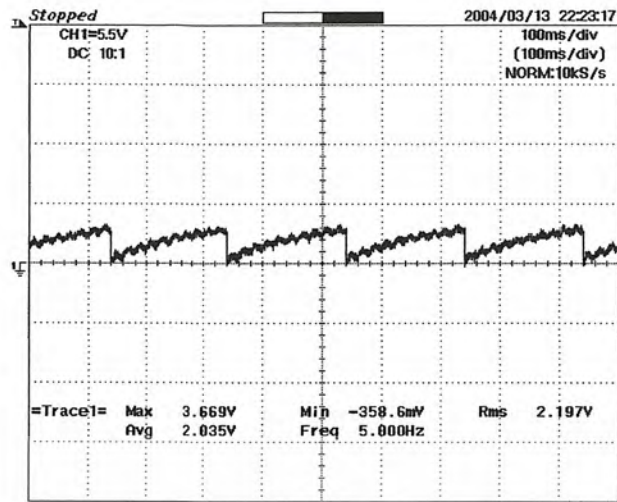
$$m(t) = K_p e(t) \quad (4.3)$$

สัญญาณควบคุมที่ได้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยจะได้ช่วงเวลาในการเปิด-ปิดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อนภายในเตาอบ แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปจุดชนวนให้ไครเออนำกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับขดลวดต่อไป โดยผ่านชุด Opto-Isolator เพื่อแยกความเสียหายในกรณีที่เกิดการลัดวงจร



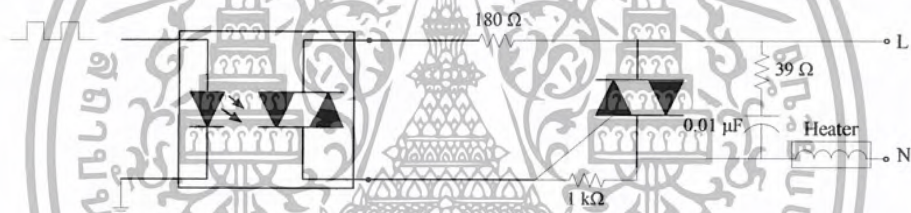
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมกับสัญญาณฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

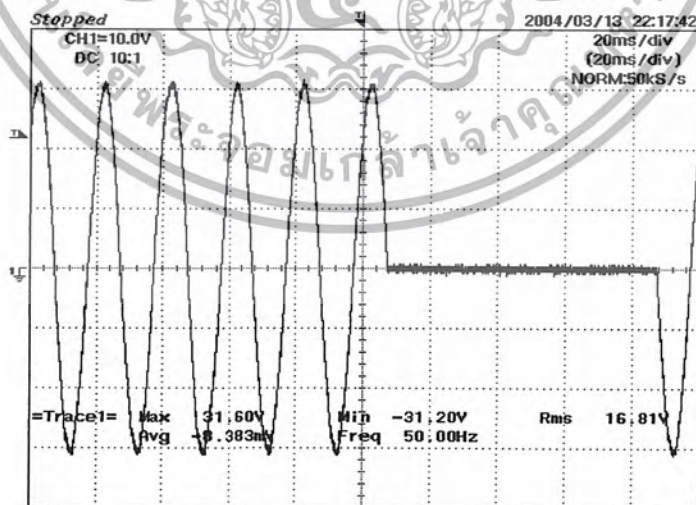


=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 ⚡
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

ภาพที่ 4.8 สัญญาณฟันเลื่อยที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 4.9 วงจรควบคุม



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.0V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 ⚡
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

ภาพที่ 4.10 ลักษณะของกระแสไฟที่จ่ายให้กับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 วงจรแปลงสัญญาณ ACD/DCA

ไอซีที่ใช้เป็นเบอร์ PCF8591 เนื่องจากวงจรภายในมีวงจร ACD แบบซิกเซสซีฟแอปพริอิก ซิเมชันขนาด 8 บิต ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่อง โดยระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I2C จึงใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบวงจรง่ายขึ้น

เนื่องจากอินพุทของคอนโทรลเลอร์กำหนดให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 1-5V แต่แรงดันที่ไอซี ADC/DAC รับรู้อยู่ในช่วง 0-5V ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแปลงระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงเดียวกัน โดยในที่นี้ใช้ซอฟต์แวร์ในการยกระดับแรงดันให้อยู่ในช่วง 1-5V

$$\text{แรงดันอินพุท 5V จะ ได้ค่า} = \text{FFH} \quad (4.4)$$

$$\therefore \text{แรงดันอินพุท 1V จะ ได้ค่า} = \frac{\text{FFH}}{05\text{H}} = 33\text{H} \quad (4.5)$$

ดังนั้นค่าที่แปลงจากแรงดันอินพุท 1-5V จะต้องลบด้วยค่า 33H และทำการแปลงให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ 0-100%

$$\%PV = [\text{ค่าที่ได้จากการแปลง A/D} - 33\text{H}] \times \frac{100}{204} \quad (4.6)$$

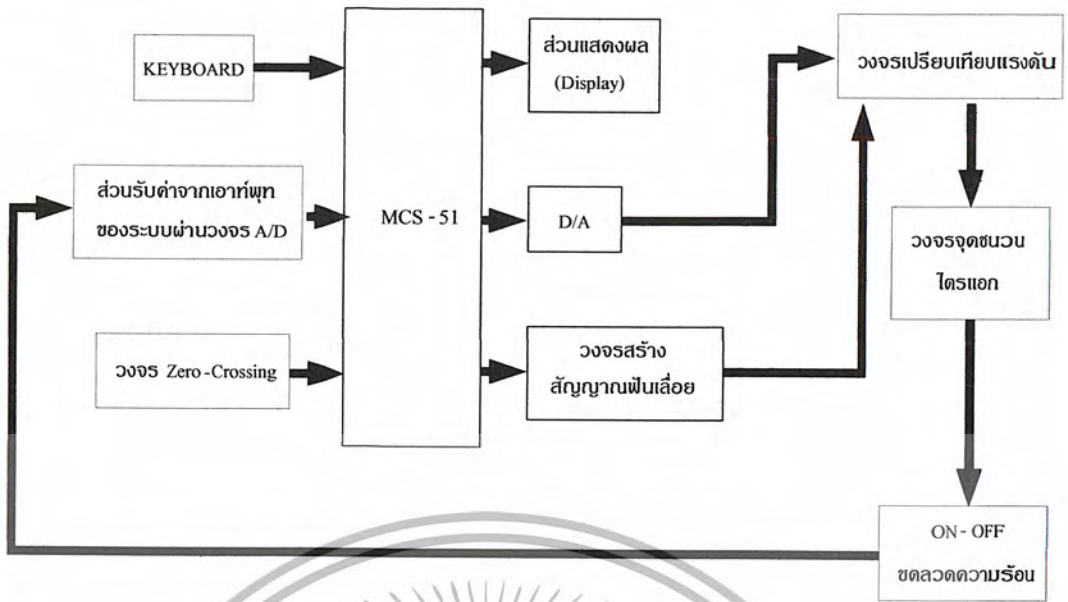
ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของเอาต์พุทจริงของระบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุทอ้างอิง (ค่าที่ต้องการ) ตามสมการ

$$\%Error = \%SV - \%PV \quad (4.7)$$

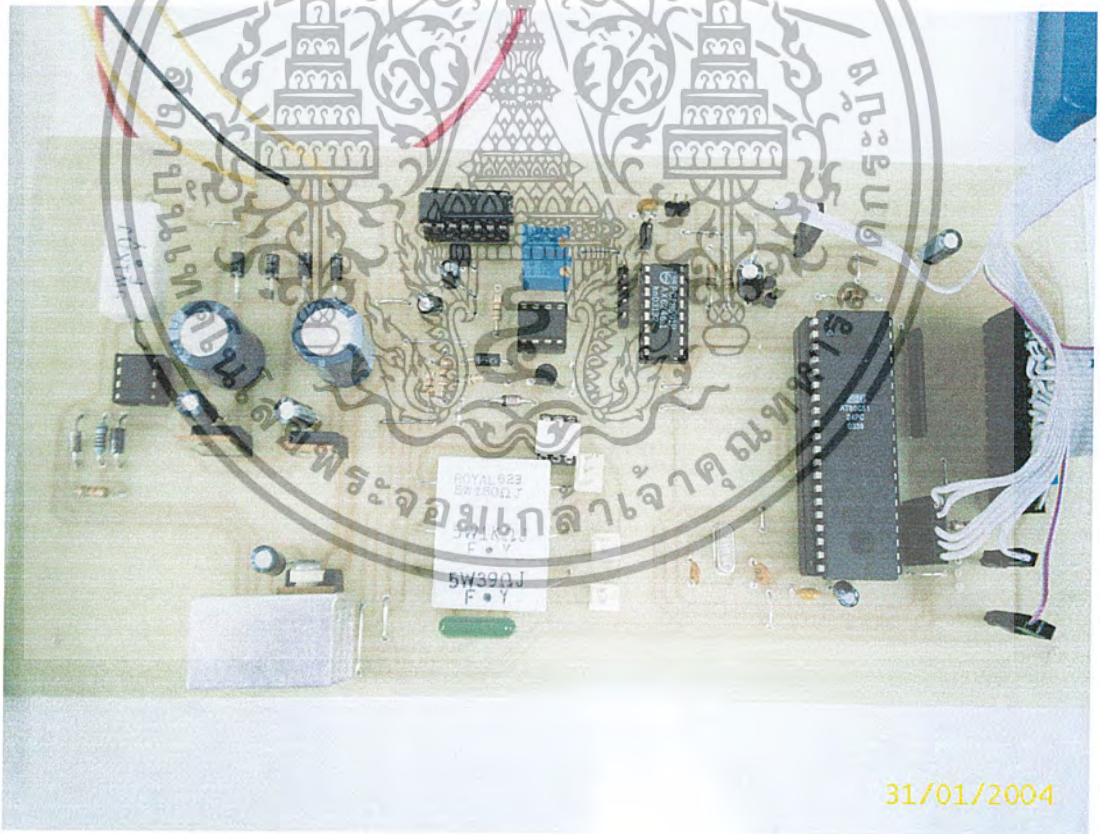
จากสมการที่ จะ ได้ค่าของความผิดพลาดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วนำค่าที่ได้มาคูณด้วยอัตราขยายก็จะได้ % ของสัญญาณควบคุม(%MV)

$$\%MV = \%Error \times \text{Gain} \quad (4.8)$$

จากนั้นนำ %MV มาคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่าเป็น 00H-FFH และเมื่อแปลงกลับไปเป็นแรงดันก็จะ ได้ค่าอยู่ในช่วง 0-5V เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟีดแบ็คต่อไป



ภาพที่ 4.11 Block Diagram ของเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional

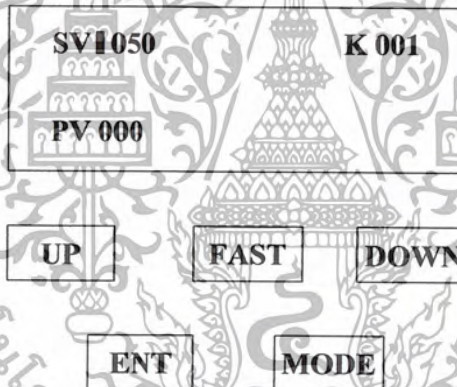


ภาพที่ 4.12 วงจรรวมของเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 เครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional



การทำงานของปุ่มต่างๆ

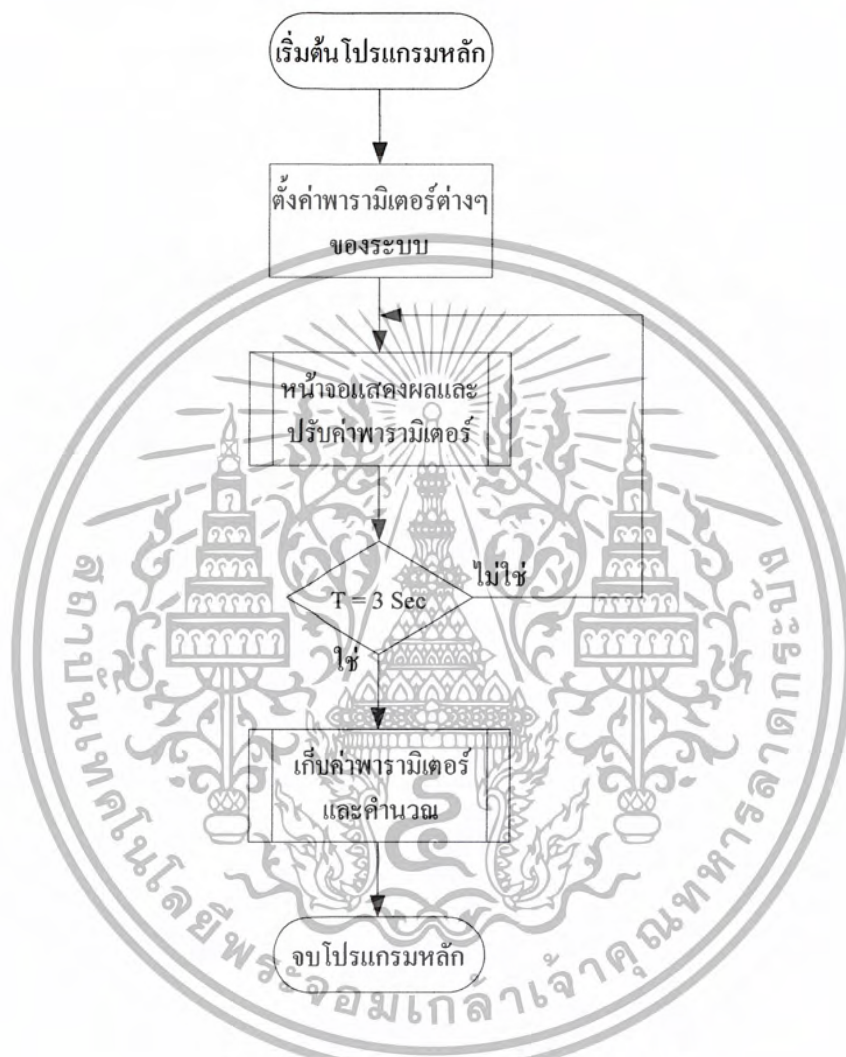
- | | |
|-------------|--|
| UP | ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ให้เพิ่มขึ้น |
| FAST | ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ให้เพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างรวดเร็ว |
| DOWN | ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ให้ลดลง |
| ENT | ใช้สำหรับเริ่มการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ |
| MODE | ใช้สำหรับเปลี่ยน Cursor ให้อยู่ในตำแหน่งของพารามิเตอร์ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงค่า |

ภาพที่ 4.14 การทำงานของปุ่มควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิใช่ผูกขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

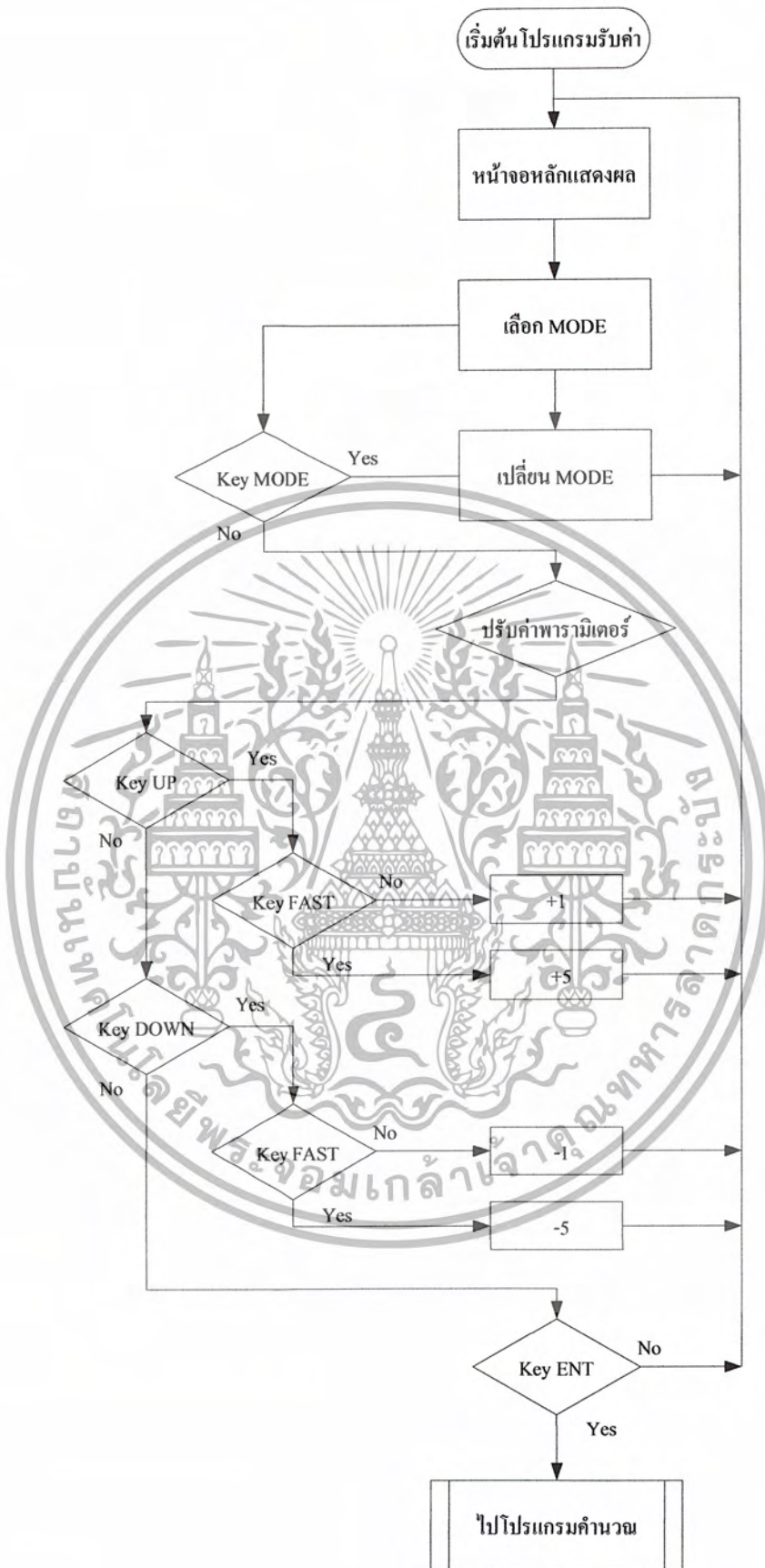
4.3 การออกแบบทางด้านโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรม แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนประกอบไปด้วย โปรแกรมหลัก, โปรแกรมรับค่าและแสดงผล และ โปรแกรมคำนวณ ซึ่งการทำงานของส่วนต่างๆ ของโปรแกรมจะมีลักษณะการทำงานดังนี้



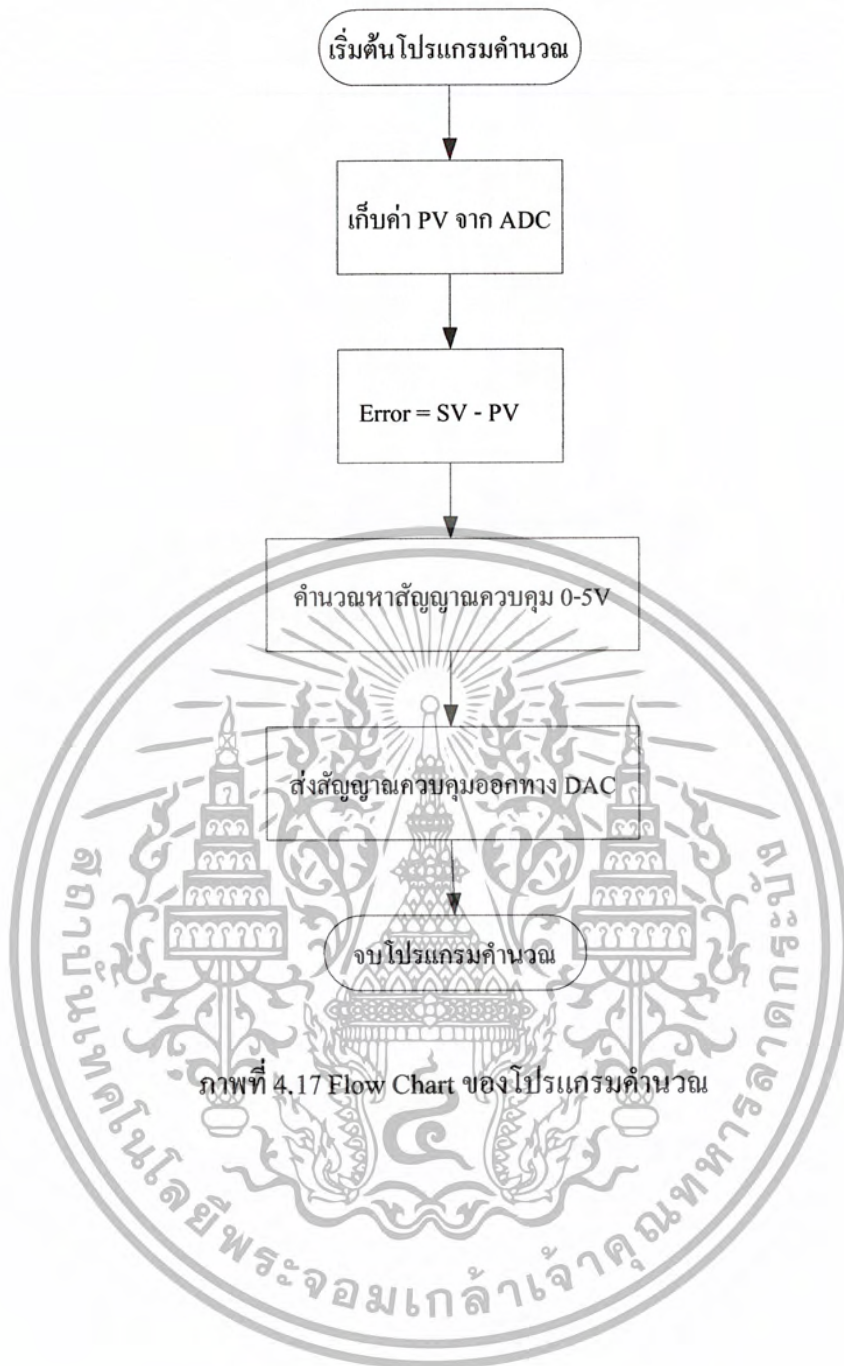
ภาพที่ 4.15 Flow Chart ของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 Flow Chart ของโปรแกรมรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



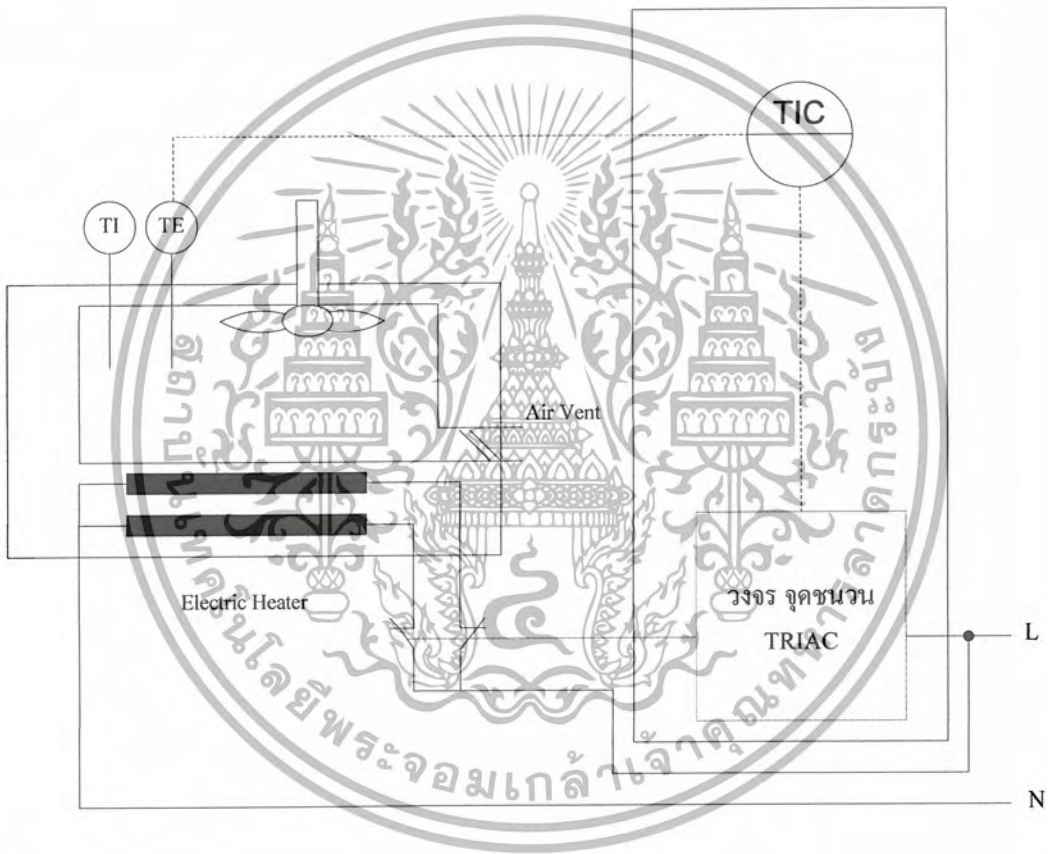
ภาพที่ 4.17 Flow Chart ของโปรแกรมคำนวณ

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเตาอบ

จากการทดลองการควบคุมแบบ Temperature Control By Using Time-proportional Technique โดยการต่อ Controller เข้ากับ Process การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ (Temperature Process) ดังภาพที่ 5.1

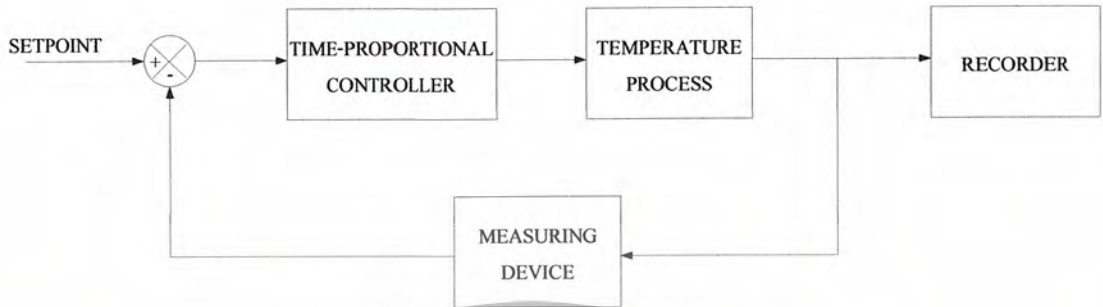


ภาพที่ 5.1 วงจรการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ

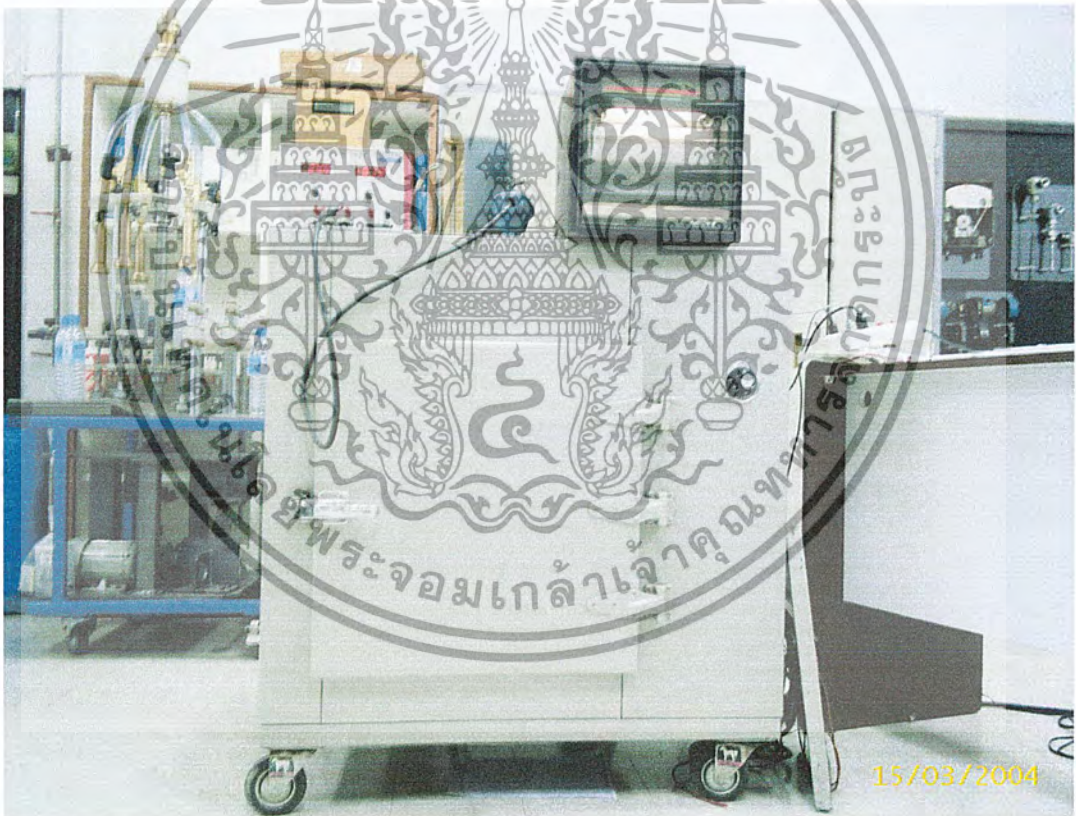
ระบบควบคุมอุณหภูมิที่นำมาทดลองเป็นเตาอบซึ่งมีขดลวดไฟฟ้าเป็นตัวทำความร้อนและมีมอเตอร์พัดลมอยู่ด้านบนเพื่อกระจายอากาศทำให้ความร้อนกระจายไปทั่วทั้งเตาด้านบนมี Thermometer (TI :Temperature Indicator) และ ตัวตรวจจับอุณหภูมิ(TE: = Temperature Element) ที่ใช้ เป็น RTD ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ซึ่งถูกต่อเข้ากับ ชุดบริดจ์ทำให้สัญญาณที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA จากนั้นทำการแปลงให้ได้เป็นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน 1-5 V ส่งไปยัง Recorder เพื่อบันทึกผลและนำมาเป็นอินพุตของ Temperature Indicator Controller (TIC) เพื่อคำนวณหาสัญญาณควบคุม 0-5 V ไปยังวงจรถนุชนวน เพื่อเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการทำงานของขดลวดความร้อน เพื่อควบคุมระดับของอุณหภูมิภายในเตาอบ

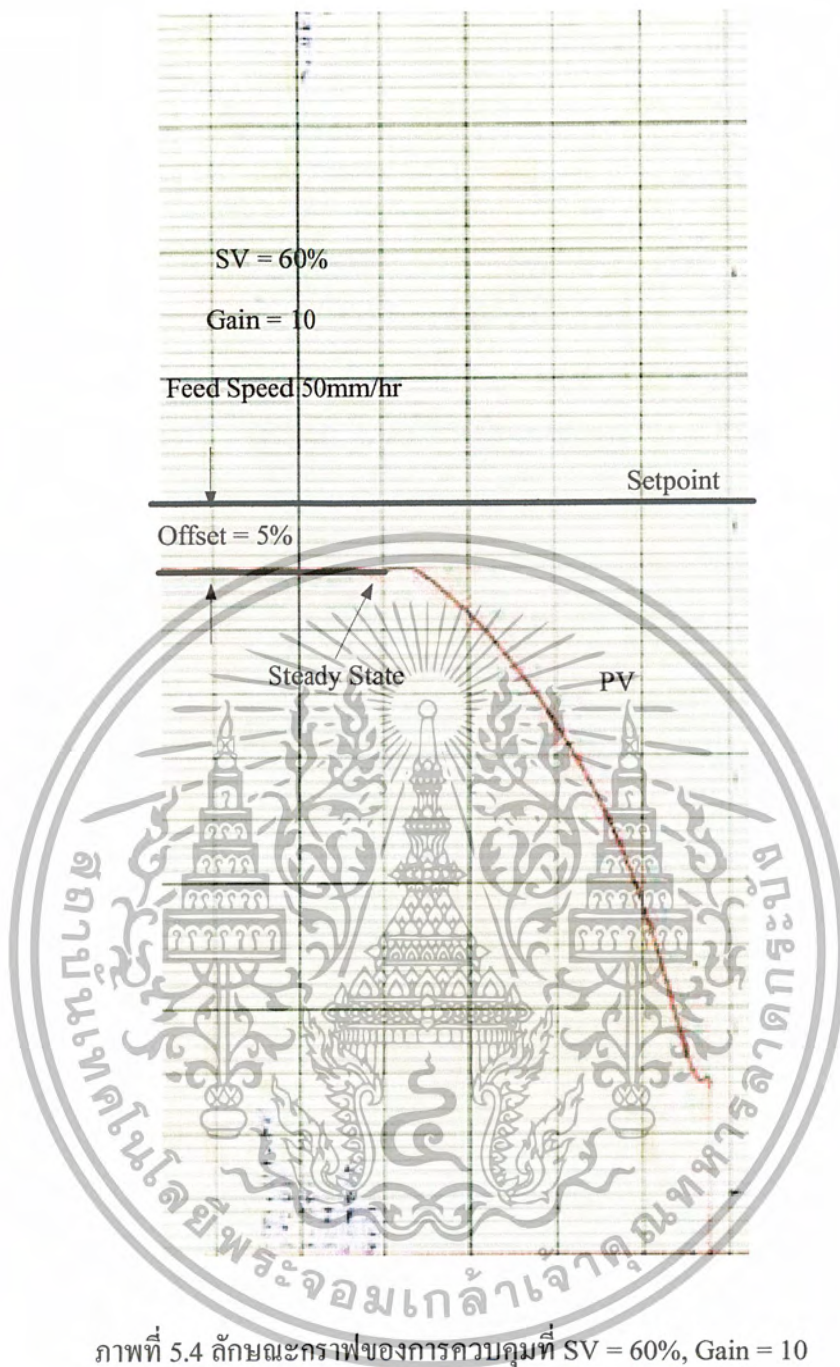


ภาพที่ 5.2 Block Diagram ของ Temperature Process



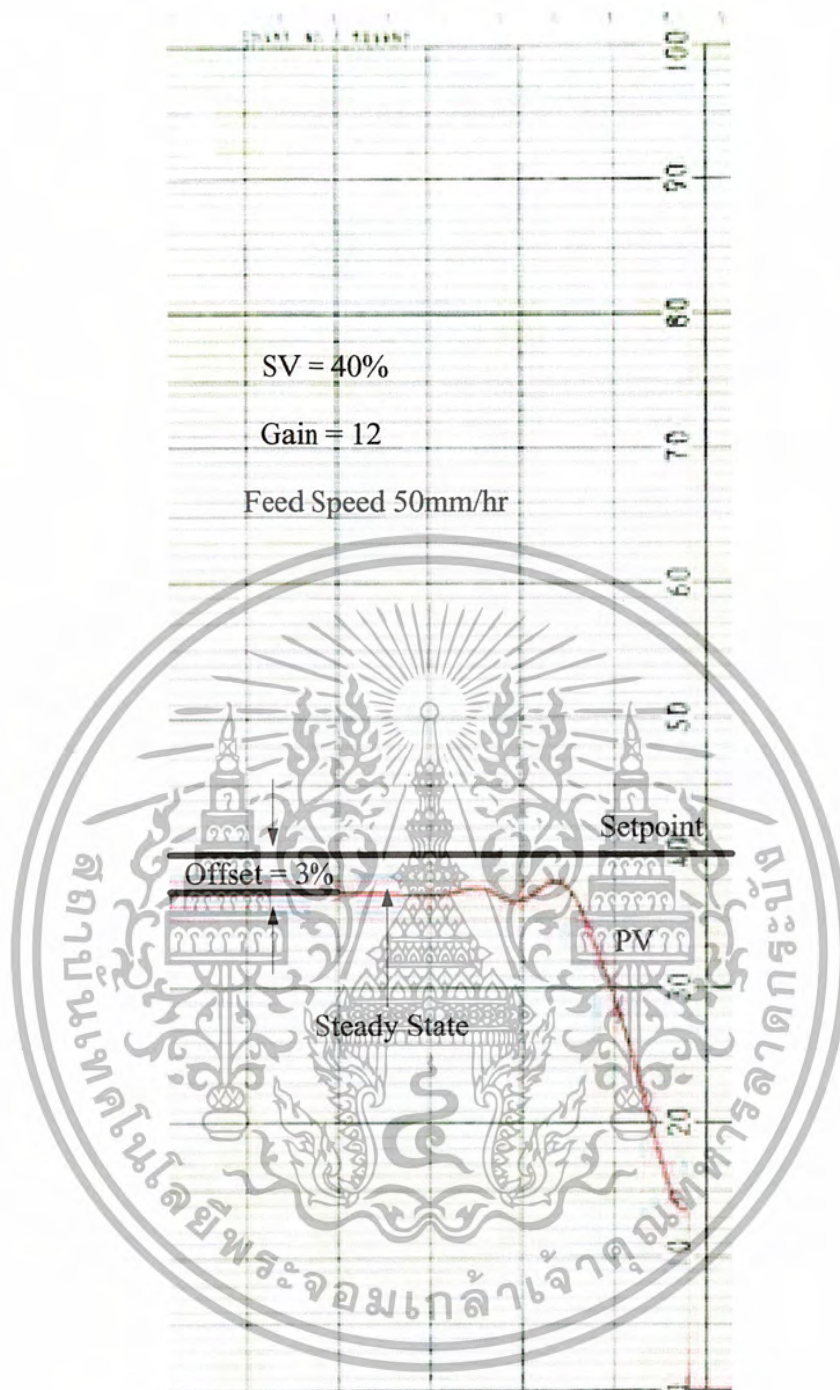
ภาพที่ 5.3 ระบบการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเครื่องควบคุมแบบ Time-Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



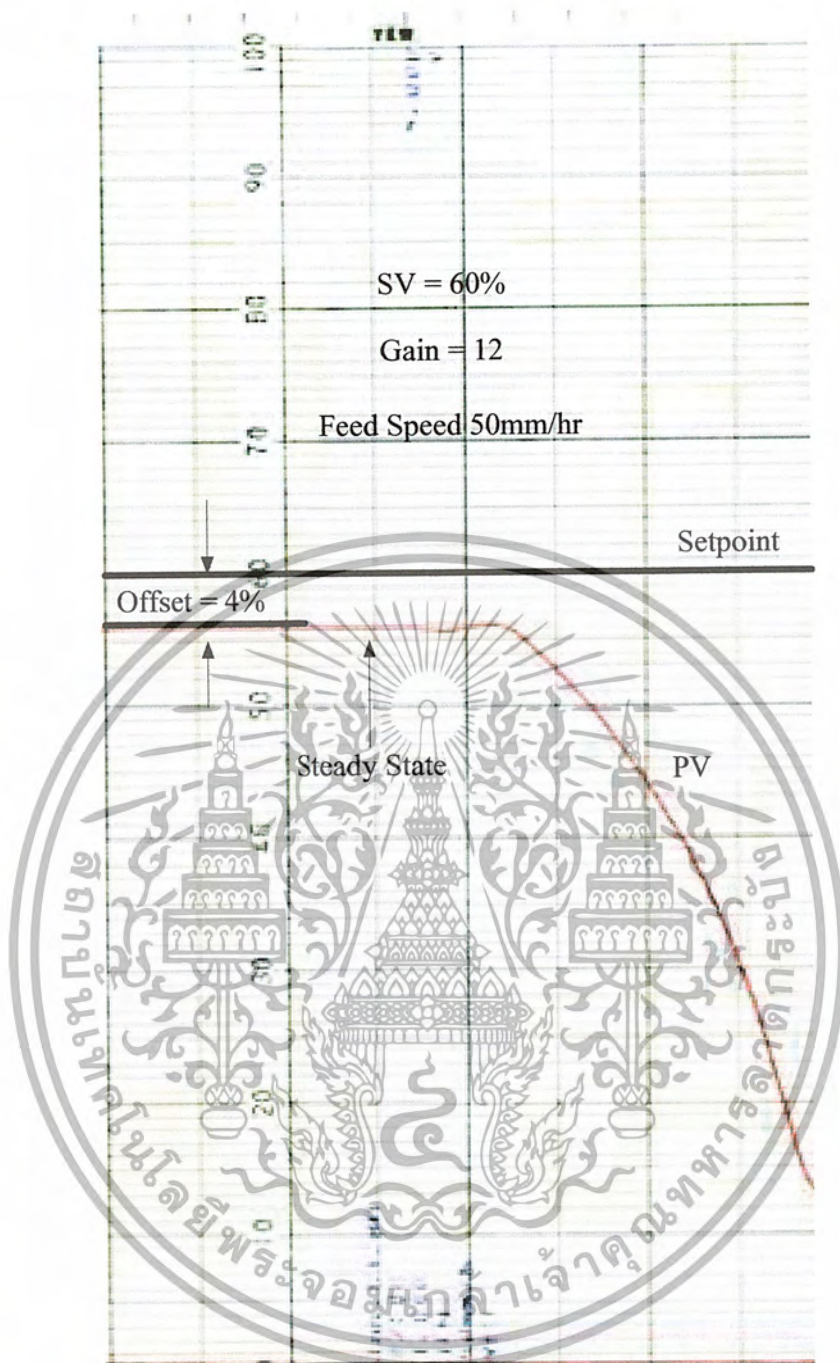
ภาพที่ 5.4 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ SV = 60%, Gain = 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



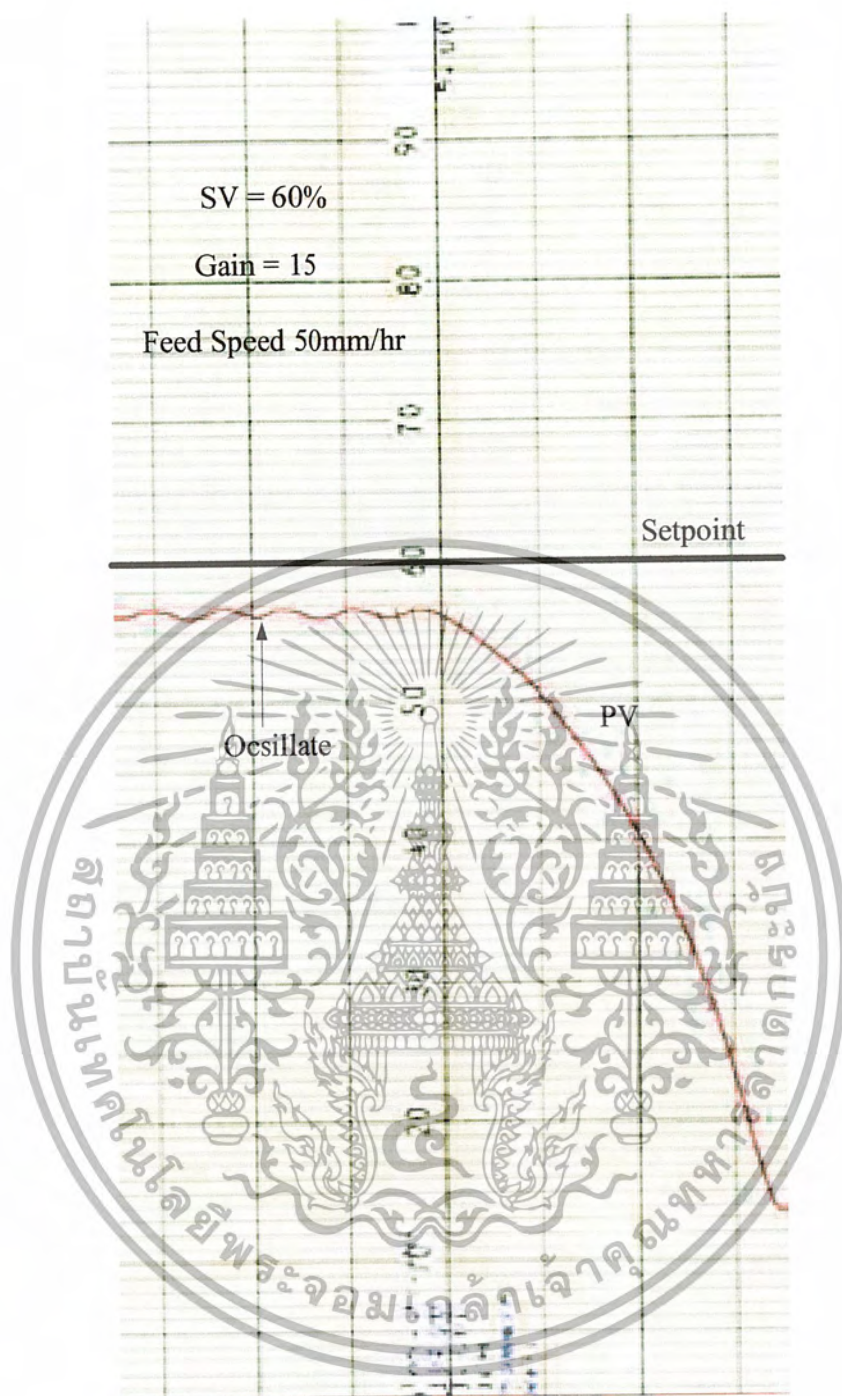
ภาพที่ 5.5 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 40\%$, $Gain = 12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 60\%$, $Gain = 12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.7 ลักษณะกราฟของการควบคุมที่ $SV = 60\%$, $Gain = 15$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ได้จากการบันทึกผลจาก Recorder โดยการทดลองปรับค่า Gain ที่ค่าต่างๆ เพื่อหาผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Gain ซึ่งจะได้ผลตอบสนองของระบบดังนี้

กราฟในภาพที่ 5.4 เป็นผลตอบสนองของระบบเมื่อทำการปรับ $SV = 60\%$, $Gain = 10$ ซึ่งจะได้ผลตอบสนองของระบบเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะเกิด Offset ของระบบขึ้น โดยที่ Offset ที่ได้จากกราฟมีค่าเท่ากับ 5% และมี $T_d = 936 \text{ sec}$, $T_r = 2088 \text{ sec}$, $T_s = 3456 \text{ sec}$

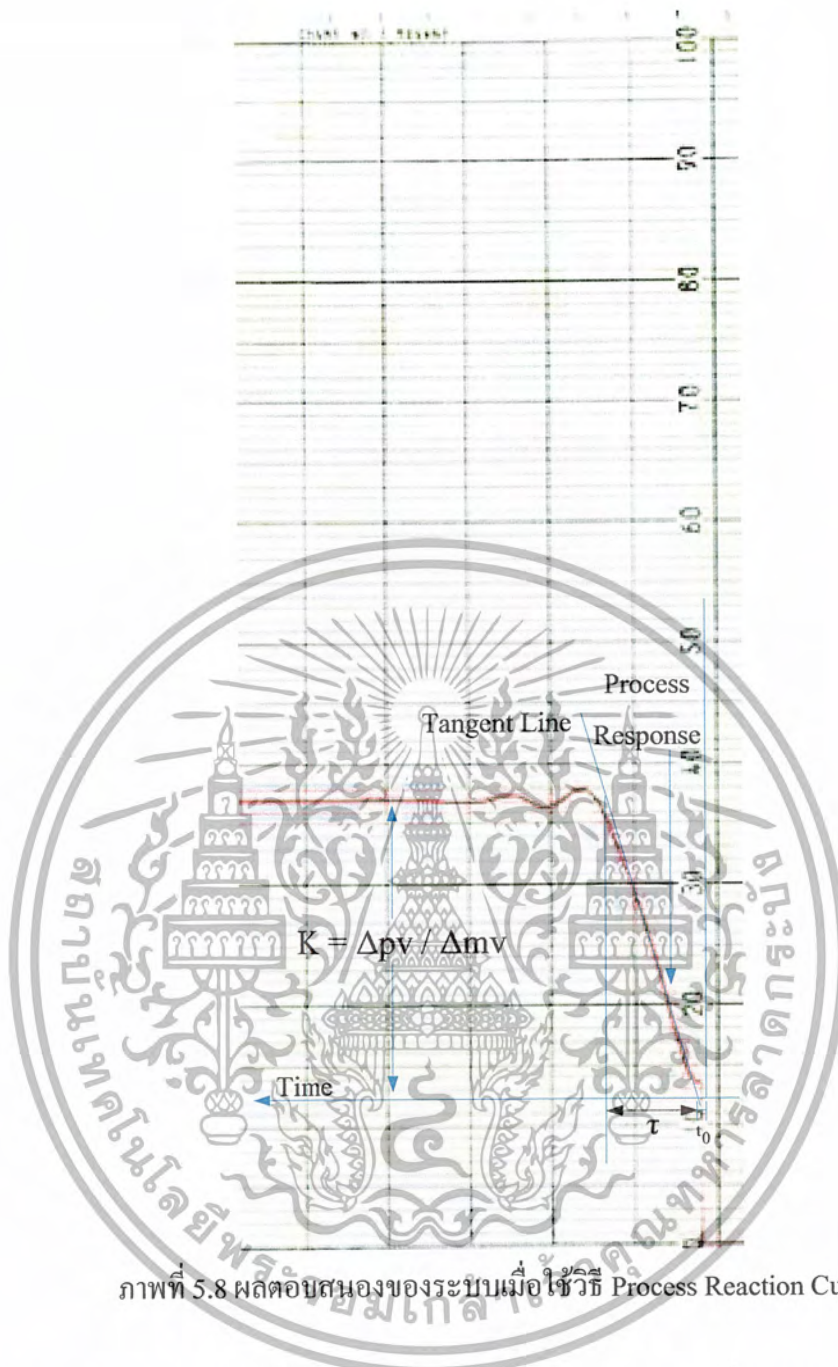
กราฟในภาพที่ 5.5 เป็นผลตอบสนองของระบบเมื่อทำการปรับ $SV = 40\%$, $Gain = 12$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะเกิด Offset ของระบบขึ้น โดยที่ Offset ที่ได้จากกราฟมีค่าเท่ากับ 3% และมี $T_d = 504 \text{ sec}$, $T_r = 756 \text{ sec}$, $T_s = 1512 \text{ sec}$

กราฟในภาพที่ 5.6 เป็นผลตอบสนองของระบบเมื่อทำการปรับ $SV = 60\%$, $Gain = 12$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะเกิด Offset ของระบบขึ้น โดยที่ Offset ที่ได้จากกราฟมีค่าเท่ากับ 4% และมี $T_d = 900 \text{ sec}$, $T_r = 1692 \text{ sec}$, $T_s = 3600 \text{ sec}$

กราฟในภาพที่ 5.7 เป็นผลตอบสนองของระบบเมื่อทำการปรับ $SV = 60\%$, $Gain = 15$ ซึ่งจะเห็นว่าผลตอบสนองของระบบจะเกิดการแกว่งตัวเนื่องจากค่า Gain ที่มากเกินไป

จากการทดลองจะต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากผลตอบสนองของกระบวนการที่ถูกควบคุมจะเป็นเช่นไรนั้นจะขึ้นอยู่กับการปรับแต่งตัวควบคุม ซึ่งการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์นั้นสามารถทำได้ทั้งทางคณิตศาสตร์และทางปฏิบัติ แต่ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมจะนิยมใช้วิธีการทางปฏิบัติมากกว่า เนื่องจากการหาค่าพารามิเตอร์ทางคณิตศาสตร์จำเป็นจะต้องรู้ตัวแปรทั้งหมดในกระบวนการ ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก การปรับแต่งหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติมีอยู่ 3 วิธีด้วยกันคือ

- วิธี Process Reaction Curve Method ของ Ziegler-Nichols (Open Loop Method)
- วิธี Ultimate Method ของ Ziegler-Nichols (Close Loop)
- วิธี Trial and Error (วิธีการลองผิดลองถูก)



ภาพที่ 5.8 ผลตอบสนองของระบบเมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยวิธีของ Ziegler-Nichols นี้ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้งานได้ทันที เป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ดังนั้นจะต้องทำการปรับค่าแบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่งด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) หลังจากนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการทดลองค่า Gain = 12 จะให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดต่อระบบ

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ Time-Proportional สามารถควบคุมอุณหภูมิในเตาอบให้มีค่าตามค่าเป้าหมายได้ โดยให้ผลตอบสนองที่ไวต่อระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของระบบจะมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว แต่ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ Time-Proportional นั้นมีข้อด้อยคือ จะเกิด Offset ขึ้นกับระบบ ทำให้ค่าของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมสามารถควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการได้เท่านั้นและจะเกิดการแกว่งตัวรอบ ๆ ค่าของอุณหภูมิที่คงที่นั้น

จากการสุ่มค่า Gain เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับระบบ โดยการทดลองที่ค่าต่าง ๆ จะพบว่าค่า Gain = 12 จะให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดต่อระบบ



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ปฏิญานินพจน์เป็นเรื่องของการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยวิธีการควบคุมแบบ Time-Proportional

โดยทั่วไปแล้วเครื่องควบคุมจะมีส่วนของเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐาน 1-5 V และ 4-20 mA แต่สำหรับโครงการนี้จะใช้เอาต์พุตที่เป็นสัญญาณควบคุม 0-5 V และได้จัดทำส่วนของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (Final Control Element) ไว้ด้วย โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรถุดชนวน ซึ่งใช้ไครเอคเป็นตัวนำกระแส เนื่องจากสามารถนำไฟกระแสสลับได้โดยใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียว และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานเพื่อควบคุมขดลวดความร้อน โดยมีส่วนของอินพุตทำหน้าที่รับสัญญาณมาตรฐาน 1-5 V ส่งผ่านวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล ส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหลังจากผ่านการคำนวณแล้วก็จะทำการส่งสัญญาณผ่านวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอกไปตัดกับสัญญาณพื้นฐานที่มีฐานเวลา (Time Base) ที่แน่นอน หลังจากนั้นก็จะได้สัญญาณควบคุมที่จะนำไปใช้ควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของขดลวดความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิไว้ให้คงที่

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

เนื่องจากกิริยาควบคุมที่เลือกใช้ในโครงการนี้เป็นกิริยาควบคุมแบบ Proportional เพียงอย่างเดียว จึงทำให้เกิดค่า Offset เกิดขึ้นในขณะที่ระบบเข้าสู่สภาวะ Steady State ดังนั้นการพัฒนาต่อไปเพื่อลดค่า Offset ที่เกิดขึ้นโดยอาจจะประยุกต์ใช้งานร่วมกับตัวควบคุมที่มีกิริยาควบคุมแบบ PI หรือ PID ซึ่งกิริยาควบคุมแต่ละแบบจะทำให้ Offset ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงหรือเข้าใกล้ Setpoint มากขึ้น และยังคงต้องออกแบบเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นในกรณีเครื่องควบคุมจะต้องอยู่ติดกับ Temperature Process ที่มีมอเตอร์ ซึ่งอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นและเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องควบคุมลดลงได้

บรรณานุกรม

- [1] สมศักดิ์ กীরตวุฒิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 16. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2544
- [2] พรจิต ประทุมสุวรรณ. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม:เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์., 2541
- [3] ศศ.เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์. หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3., 2544
- [4] รศ.ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์.,ระบบควบคุมป้อนกลับ. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรีนติ้ง
- [5] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ฉบับ AT89C5X ของ Atmel. กรุงเทพฯ
- [6] สักกริยา ชิตวงศ์. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรีนติ้ง., 2544
- [7] ไสว พงศ์สวัสดิ์., อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์., 2544
- [8] <http://www.acat.or.th/library/INDEX.HTM>
- [9] http://electronics.se-ed.com/contents/091s246/091s246_p04.asp
- [10] www.thaiio.com

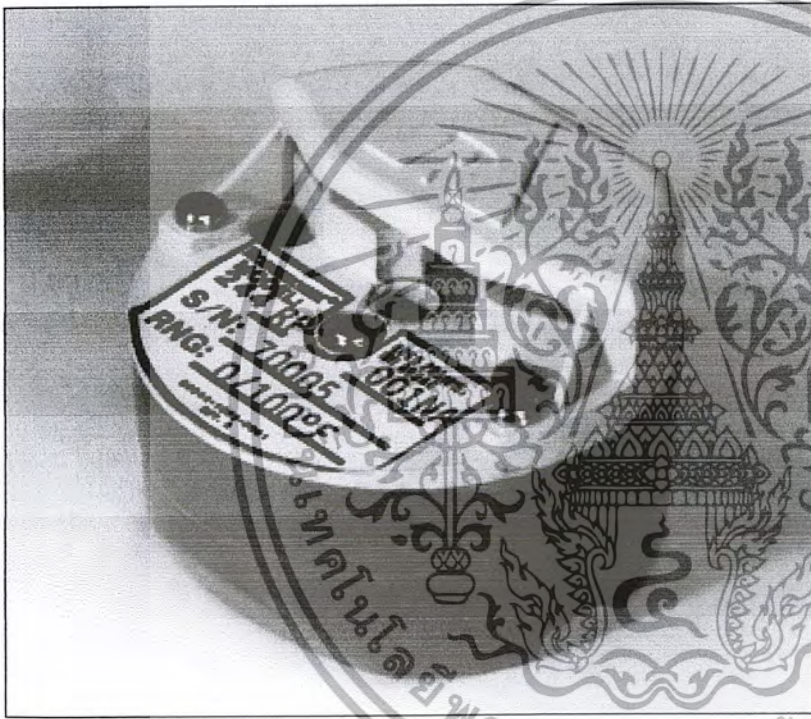




ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model 244R RTD Temperature Transmitter



FEATURES

- Low cost
- Small size
- Sturdy construction
- Many fixed-range platinum RTD models

Model 244R

**Model 244R transmitters are
only available through
Rosemount sales offices in
Europe and Asia-Pacific**

Temperature-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTRODUCTION

The Model 244R Temperature Transmitter⁽¹⁾ is a versatile, compact, two-wire transmitter suitable for control room or field mounting. It provides a 4–20 mA output signal directly proportional to temperature for three-wire, 100-ohm R_0 Platinum Resistance Temperature Detector (RTD) inputs. The compact design makes it ideal for DIN rail mounting or for fitting into a wide range of popular connection heads as well as a series of conventional Rosemount enclosures.

All electronics are completely encapsulated with epoxy to make the transmitter extremely sturdy and to guarantee long-term stability and accuracy. In addition, special RFI filters provide excellent RFI immunity.

Accessory mounting hardware kits are available for installing one or more transmitters in either control room or field applications. Rosemount Inc. also offers a complete line of sensors, thermowells, and fittings in a wide variety of configurations to meet any requirement.

SPECIFICATIONS

Functional Specifications

Input

Three-wire platinum RTD in accordance with IEC 751-1983, BS1904, or DIN 43760 (1980) characteristics. For example: $R_0 = 100 \Omega$, $R_{100} = 138.5 \Omega$ ($\alpha = 0.00385$).

Output

Two-wire, 4–20 mA, proportional to temperature over the calibrated range.

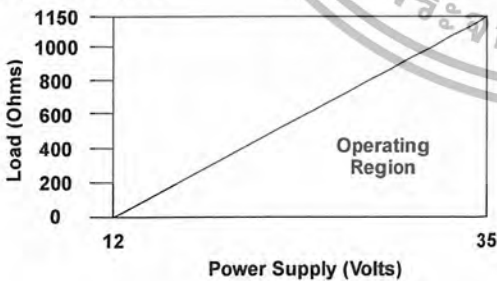
Temperature Range

See ordering information.

Power Supply

External power supply required. Transmitter operates on 12 to 35 V dc with no load.

Load Limitations



(1) May be protected by one or more of the following U.S. Pat. Nos.: Re. 30,597; Re. 30,603. Other foreign patents issued.

Ambient Temperature Limits

Operating:

–25 to 80 °C (–13 to 176 °F).

Storage:

–40 to 125 °C (–40 to 257 °F).

Loss of Input Protection

Inherent upscale burnout protection, maximum output of 23 to 45 mA, depending on supply voltage.

Span and Zero Adjustability

Externally adjustable $\pm 5\%$. Span and zero accessible from bottom of transmitter.

Performance Specifications

Accuracy

$\pm 0.2\%$ of calibrated span, including linearity, hysteresis, and repeatability.

Ambient Temperature Effect

Zero:

Less than ± 0.5 °C per 50 °C (90 °F) change in ambient.

Span:

Less than $\pm 0.5\%$ of reading or ± 0.5 °C, (whichever is greater) per 50 °C (90 °F) change in ambient.

RFI Effect

Output error will be less than 0.1% when unit is subjected to a field strength of 20 V/m over the frequency range of 20 to 1,000 MHz.

Sensor Wiring

Capacitive limit of 0.001 μF (10nF) between any sensor lead and power leads.

General Specifications

Electrical Connections

Screw terminals for sensor and field wiring. Two spade connectors supplied for attaching power wires.

Case Material

Die-cast zinc alloy. Internal components encapsulated in epoxy resin.

Terminal Block Material

Gray Noryl[®].

Paint

Baked enamel.

Weight

5 oz. (0.14 kg) excluding accessories.

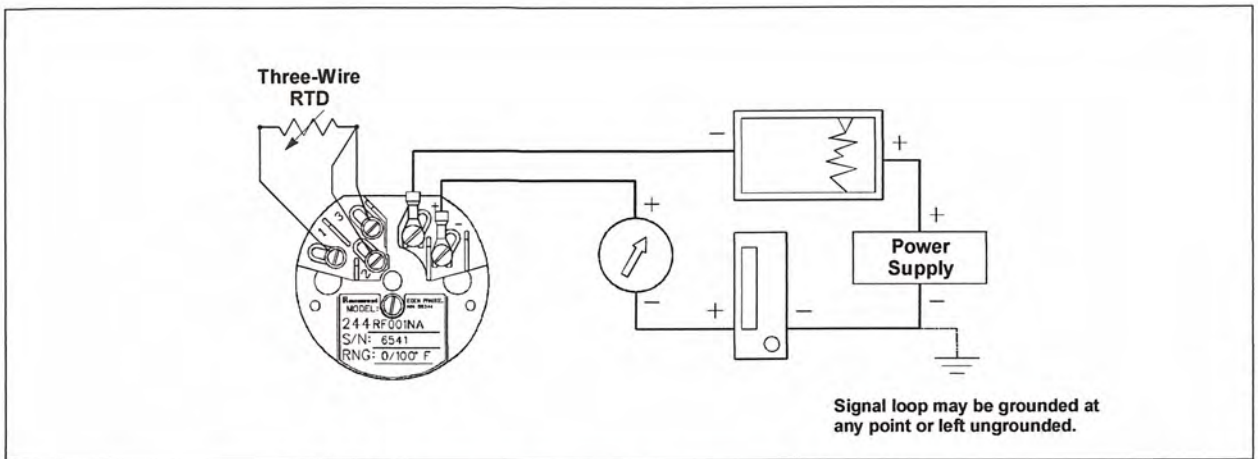


FIGURE 1. Model 244R Temperature Transmitter Field Wiring Diagram.

244-0244E02A

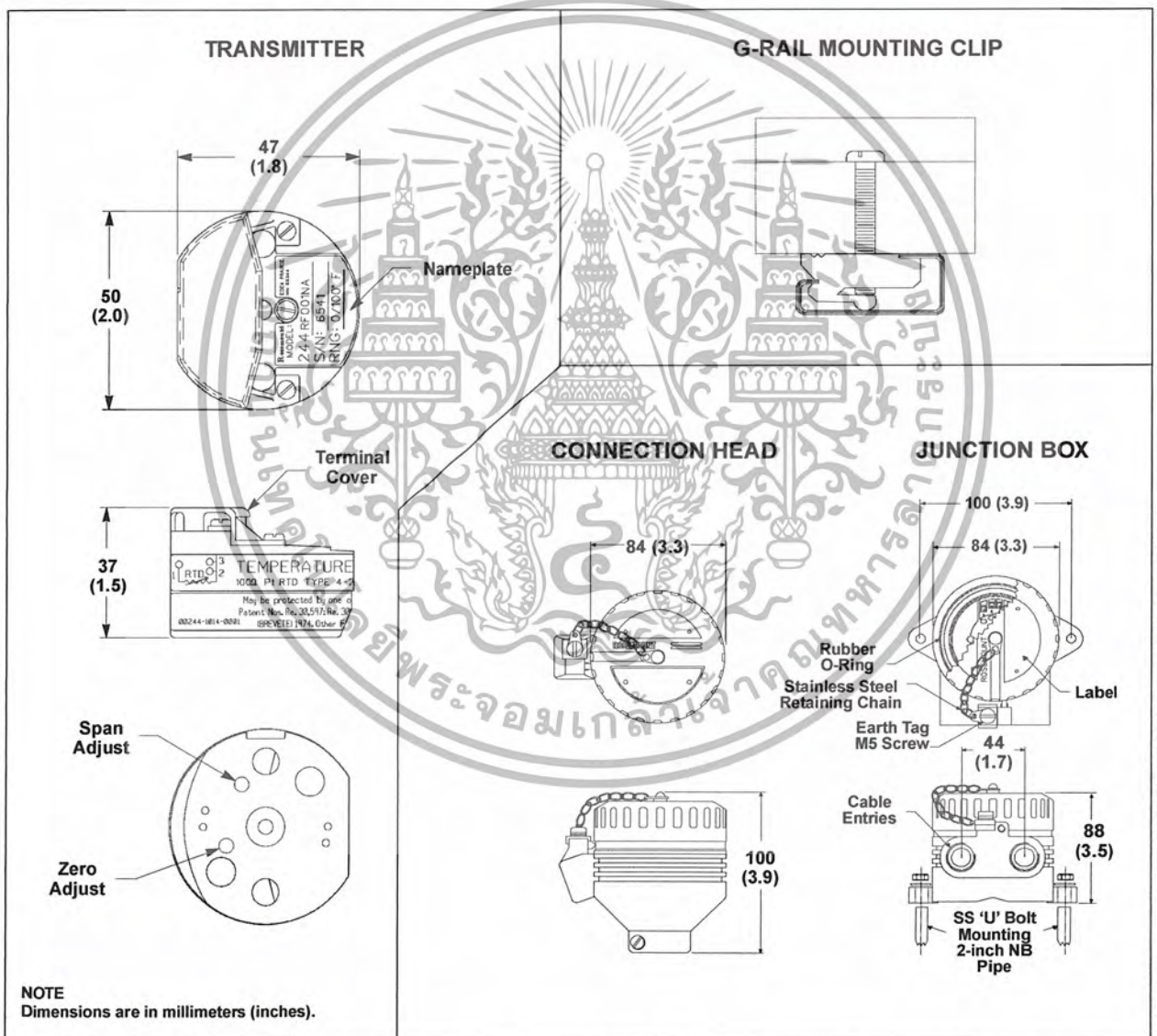


FIGURE 2. Model 244R Temperature Transmitter and Mounting Accessories Dimensional Drawings.

244-0244D02A, 0244C02A, 0244B02A, 0244H01A, 0244G01A, 0244F02A

Model 244R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORDERING INFORMATION

Model	Product Description
244	Two Wire Temperature Transmitter
Code	Input
R	Resistance Thermometer (Pt 100)
Code	Range (N = negative, P = positive)
<i>Specify Range From List</i>	Degrees C N50 – P50 N50 – P80 N20 – P180 N10 – P40 0 – P50 0 – P100 0 – P150 0 – P200 0 – P300
Code	Hazardous Area Approvals
E1	CENELEC (BASEEFA) Flameproof Approval (available with option codes J1 – J4 only)
N1	BASEEFA Type N Non-Incendive Approval (available with option codes J1 – J4 only)
Code	Options
D	Assembly Options Universal DIN Rail Mounting Kit
X1	Assemble Transmitter to a Connection Head with a DIN-Style Sensor Assembly ⁽¹⁾
J1	Junction Box, Aluminum Alloy with 2-inch Stainless Steel Pipe Bracket, M20 × 1.5 Conduit Entry
J2	Junction Box, Stainless Steel with 2-inch Stainless Steel Pipe Bracket, M20 × 1.5 Conduit Entry
J3	Junction Box, Aluminum Alloy with 2-inch Stainless Steel Pipe Bracket, 1/2–14 NPT Conduit Entry
J4	Junction Box, Stainless Steel with 2-inch Stainless Steel Pipe Bracket, 1/2–14 NPT Conduit Entry
Q4	Calibration Certificate Options 3-Point Calibration Certificate (use Q4 with C4 for a 5-point certificate)
C4	5-Point Calibration Certificate (must order with Q4 to generate a certificate)
Typical Model Number: 244 R P50 - P300 - N1	

(1) When ordering the X1 option, options E1 and N1 are not available from the 244R ordering table. To order these options, refer to the appropriate hazardous area approval from volume 2 of the Rosemount Sensors Product Data Sheet, page Temperature-151.

ACCESSORIES

Part Number	Product Description
0244-0036-0001	DIN "A" Head Mounting Adapter
0244-0062-0001	Mounting Plate for Transmitter without Sensor

Tagging

The transmitter will be tagged, at no charge (standard tagging), in accordance with customer requirements. All tags are stainless steel. The standard tag is an adhesive label securely attached to the transmitter body.

Shipping Weight

Shipping weight is 130 grams.

Rosemount Inc.
8200 Market Boulevard
Chanhassen, MN 55317 USA
Tel 1-800-999-9307
Telex 4310012
Fax (612) 949-7001
© 1998 Rosemount Inc. 
<http://www.rosemount.com>

Fisher-Rosemount Limited
Heath Place
Bognor Regis
West Sussex PO22 9SH
England
Tel 44 (1243) 863 121
Fax 44 (1243) 867 5541

Fisher-Rosemount Singapore Pte Ltd.
1 Pandan Crescent
Singapore 128461
Tel (65) 777-8211
Fax (65) 777-0947
Tlx RS 61117 FR SPL

ROSEMOUNT®

FISHER-ROSEMOUNT® Managing The Process Better.

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

DESCRIPTION

The MOC303XM and MOC304XM devices consist of a AlGaAs infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a zero voltage crossing bilateral triac driver.

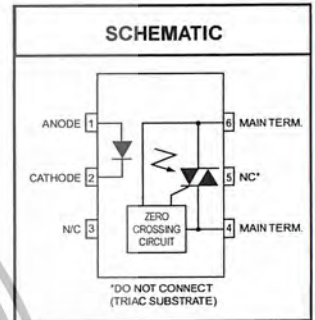
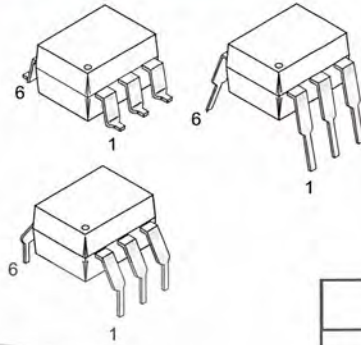
They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 VAC lines, such as teletypewriters, CRTs, solid-state relays, industrial controls, printers, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

FEATURES

- Simplifies logic control of 115 VAC power
- Zero voltage crossing
- dv/dt of 2000 V/μs typical, 1000 V/μs guaranteed
- VDE recognized (File # 94766)
- ordering option V (e.g., MOC3043VM)

APPLICATIONS

- Solenoid/valve controls
- Static power switches
- Temperature controls
- AC motor starters
- Lighting controls
- AC motor drives
- E.M. contactors
- Solid state relays



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _A = 25°C unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T _{STG}	All	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T _{OPR}	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	All	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T _J	All	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V _{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C Derate above 25°C	P _D	All	250	mW
		All	2.94	mW/°C
EMITTER				
Continuous Forward Current	I _F	All	60	mA
Reverse Voltage	V _R	All	6	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	All	120	mW
		All	1.41	mW/°C
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	MOC3031M/2M/3M	250	V
		MOC3041M/2M/3M	400	
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I _{TSM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	All	150	mW
		All	1.76	mW/°C

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 30\text{ mA}$	V_F	All		1.25	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 6\text{ V}$	I_R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V_{DRM} , $I_F = 0$ (note 1)	I_{DRM1}	All			100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}$, $I_F = 0$	V_{TM}	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 9, note 3)	dv/dt	All	1000			V/ μs

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Main terminal voltage = 3V (note 2)	I_{FT}	MOC3031M/MOC3041M			15	mA
			MOC3032M/MOC3042M			10	
			MOC3033M/MOC3043M			5	
Holding Current, Either Direction		I_H	All		400		μA

ZERO CROSSING CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
Inhibit Voltage	$I_F = \text{rated } I_{FT}$, MT1-MT2 voltage above which device will not trigger off-state	V_{IH}	All			20	V
Leakage in Inhibited State	$I_F = \text{rated } I_F$, rated V_{DRM} , off-state	I_{DRM2}	All			500	μA

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (15 mA for MOC3031M & MOC3041M, 10 mA for MOC3032M & MOC3042M, 5 mA for MOC3033M & MOC3043M) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt . See Figure 9 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.

MOC3031M

MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M

Figure 1. LED Forward Voltage vs. Forward Current

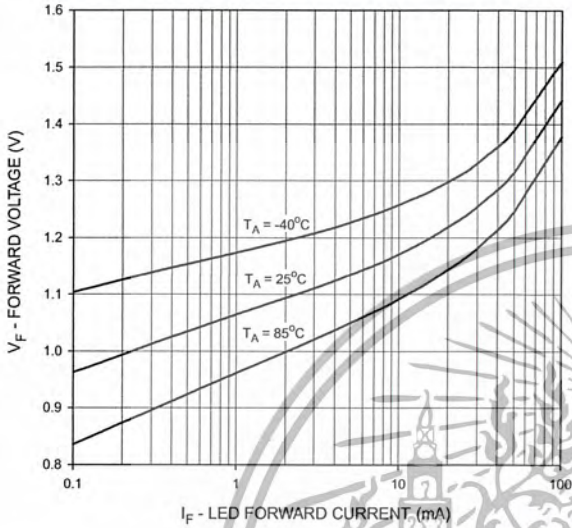


Figure 2. On-State Characteristics

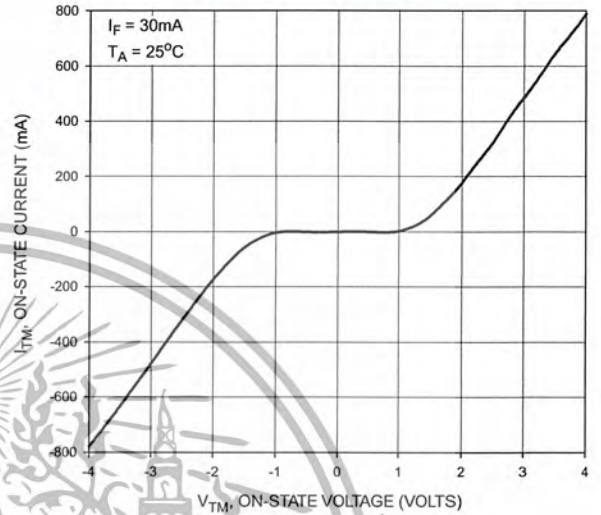


Figure 3. Trigger Current vs. Temperature

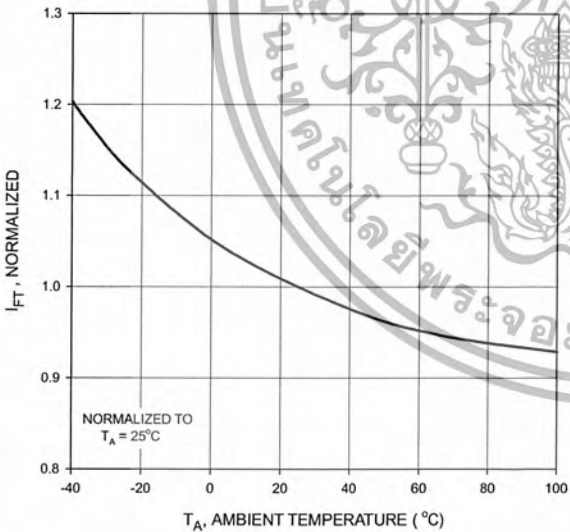
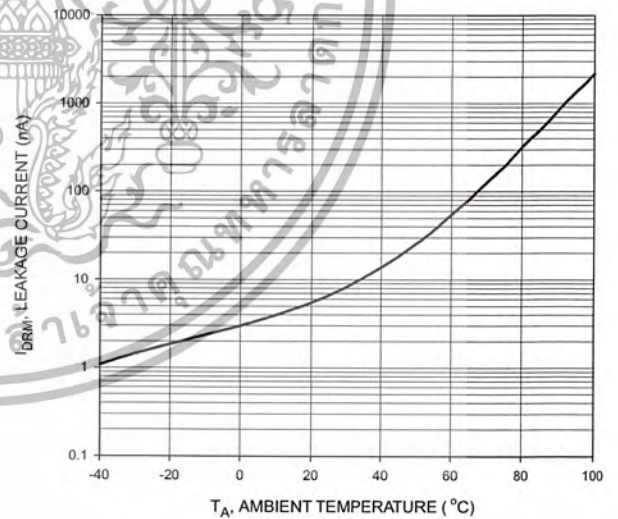


Figure 4. Leakage Current, I_{DRM} vs. Temperature



MOC3031M

MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M

Figure 5. I_{DRM2} - Leakage in Inhibit State vs. Temperature

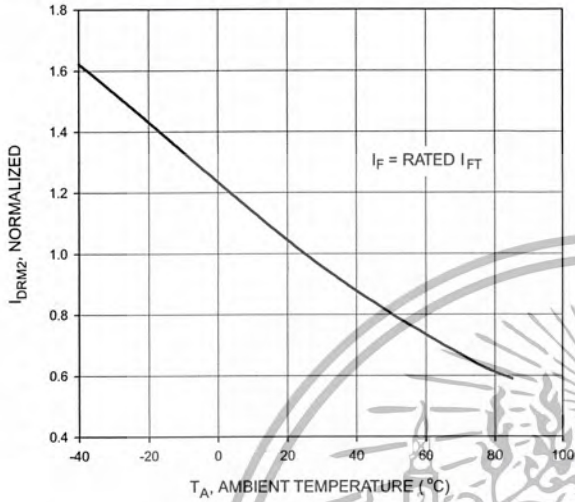


Figure 6. LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

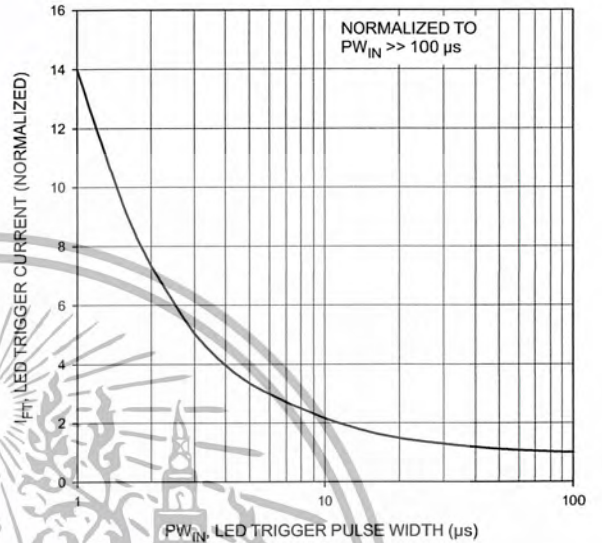


Figure 7. Holding Current, I_H vs. Temperature

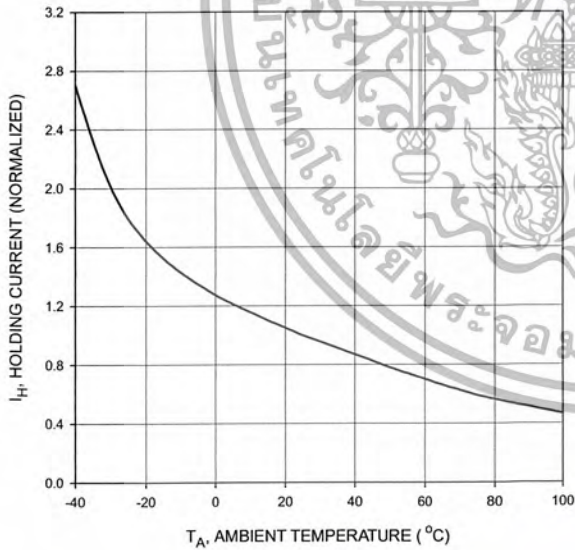
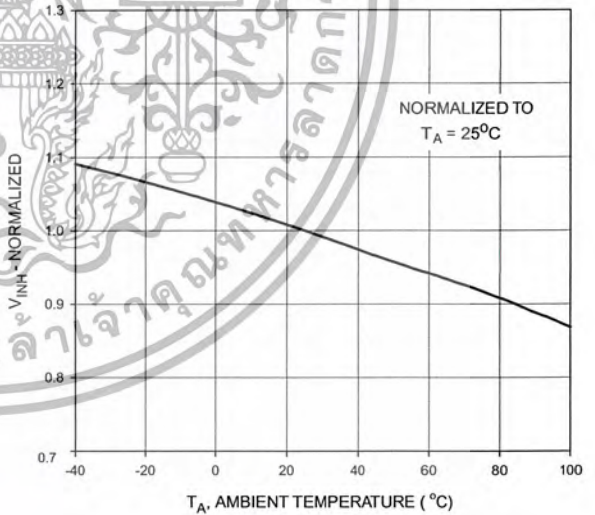


Figure 8. Inhibit Voltage vs. Temperature



MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

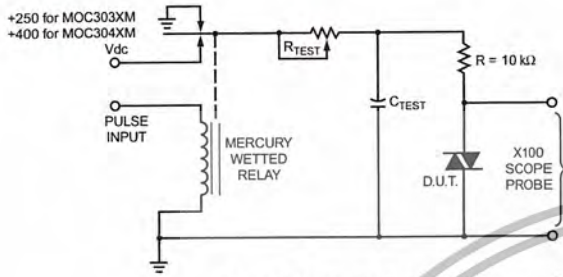


Figure 9. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.



Figure 10. Static dv/dt Test Waveform (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

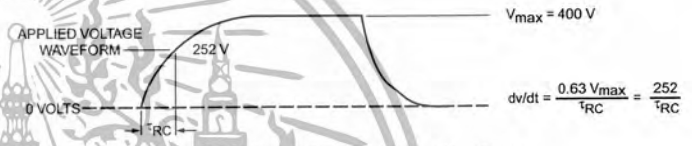
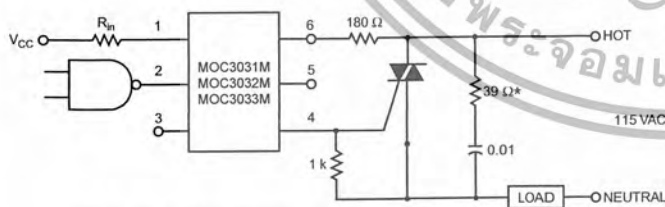


Figure 11. Static dv/dt Test Waveform (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

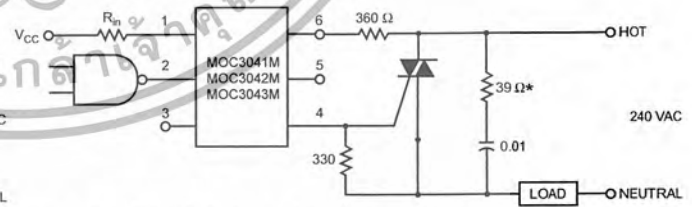
Typical circuit (Fig 12, 13) for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 5 mA for the MOC3033M and MOC3043M, 10 mA for the MOC3032M and MOC3042M, or 15 mA for the MOC3031M and MOC3041M. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.



*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 12. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)



*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 13. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

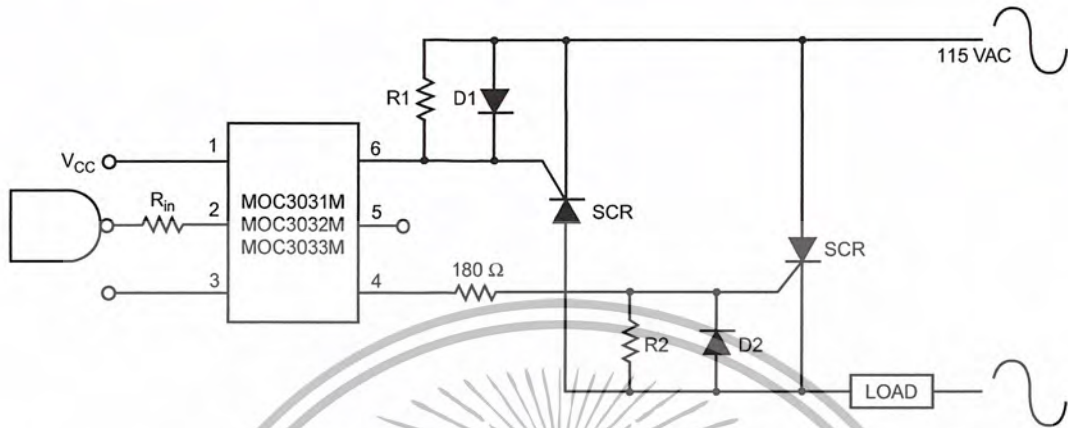


Figure 14. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit
(MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 1 k ohm.

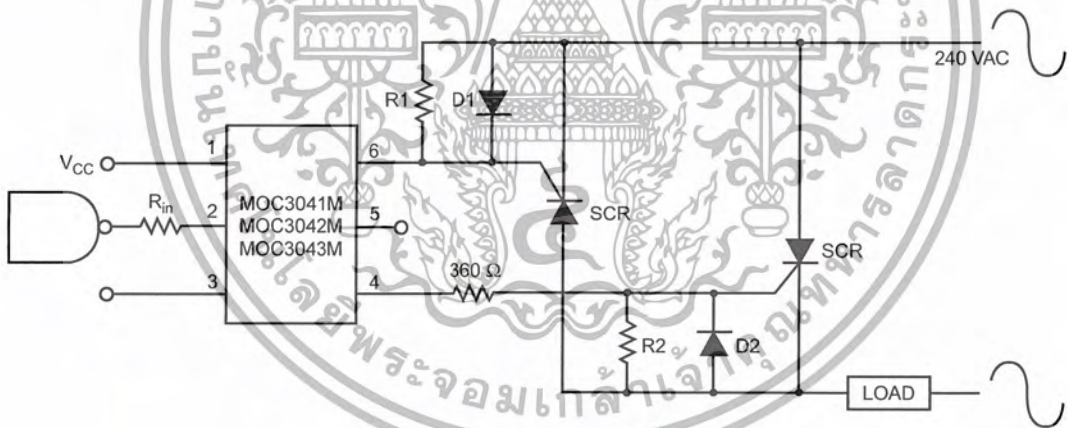


Figure 15. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit
(MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohm.

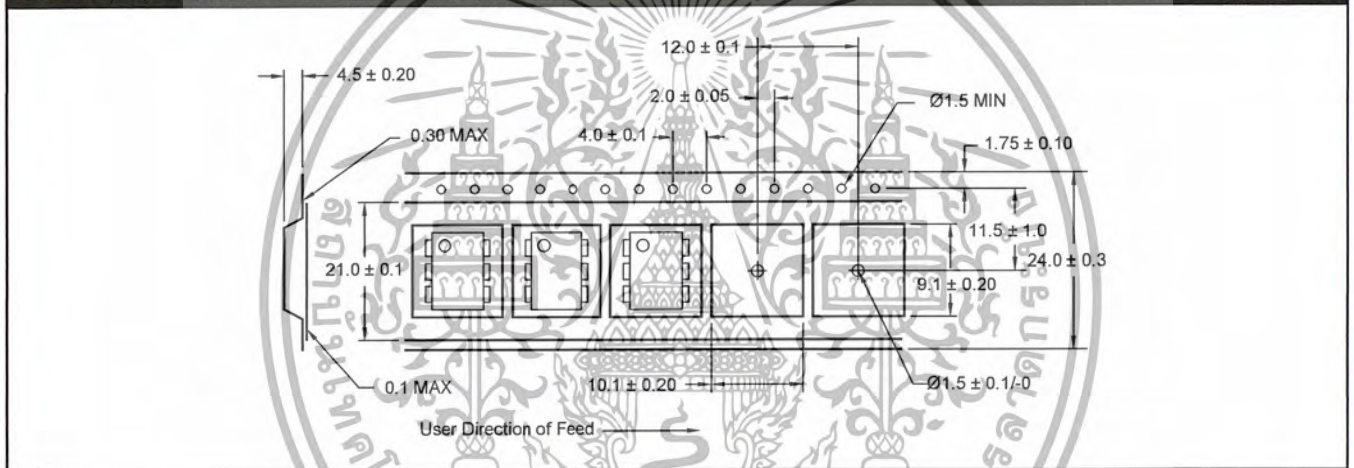
Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

ORDERING INFORMATION

Option	Order Entry Identifier	Description
S	S	Surface Mount Lead Bend
SR2	SR2	Surface Mount; Tape and reel
T	T	0.4" Lead Spacing
V	V	VDE 0884
TV	TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
SV	SV	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel

Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation)



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



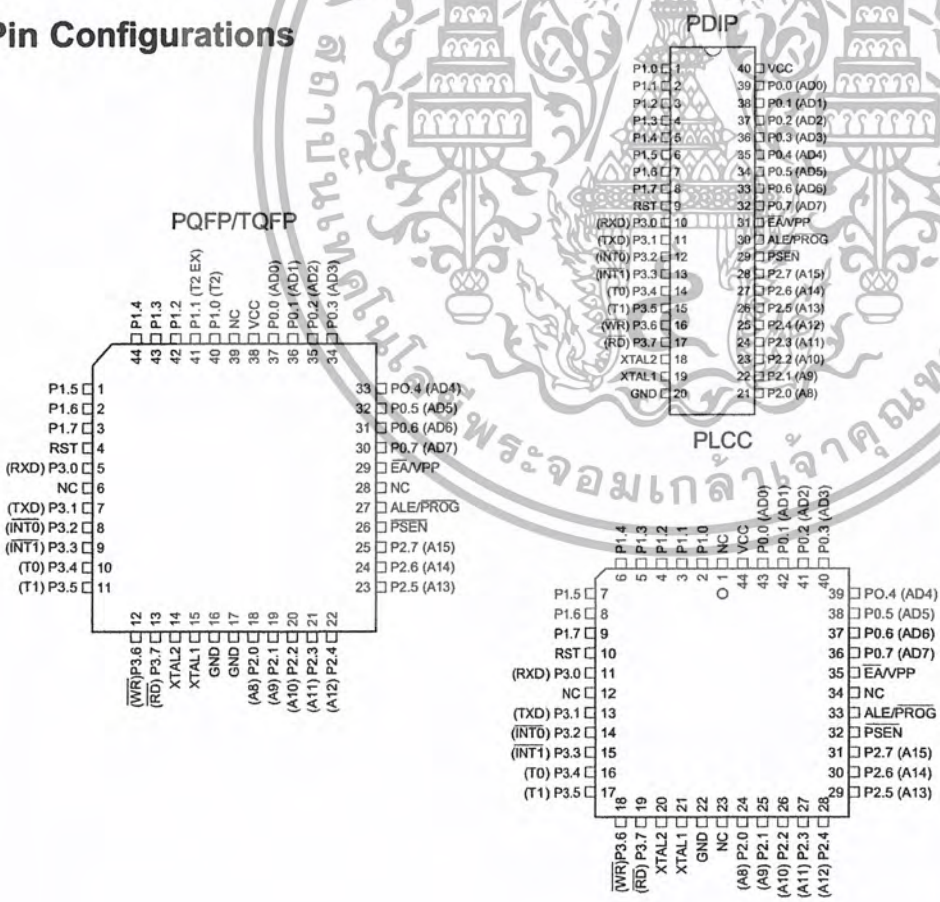
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

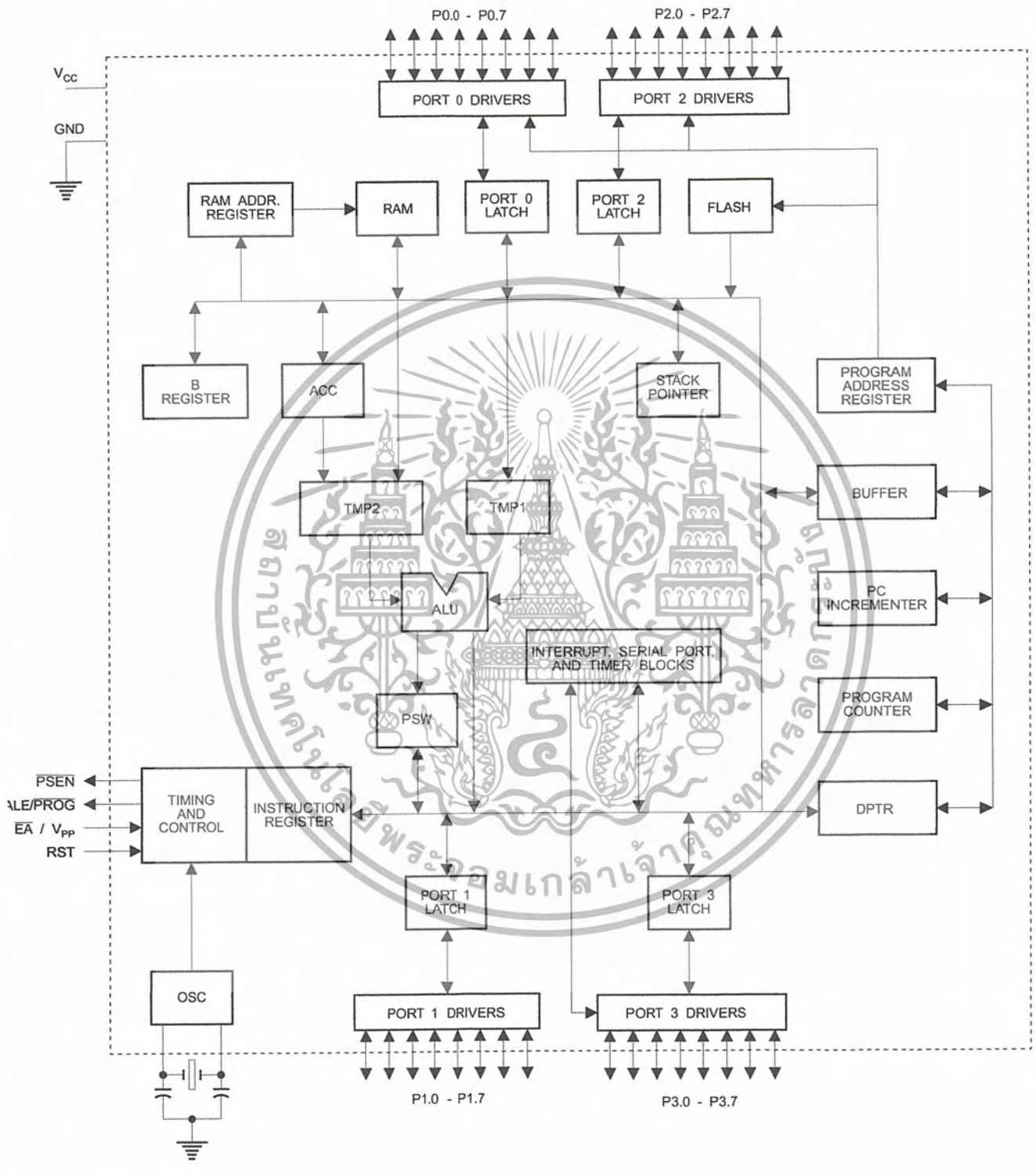
Not Recommended for New Designs. Use AT89S51.

Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

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 pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/VPP

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP}.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

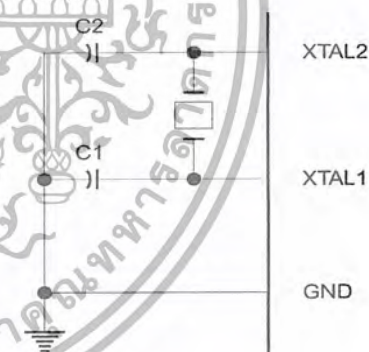
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

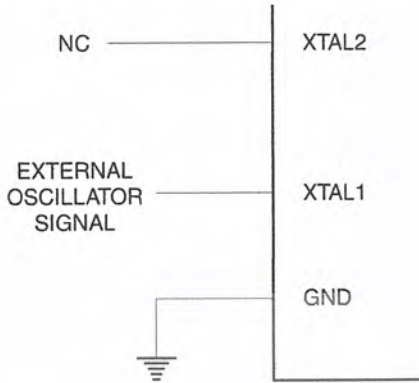


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled



Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

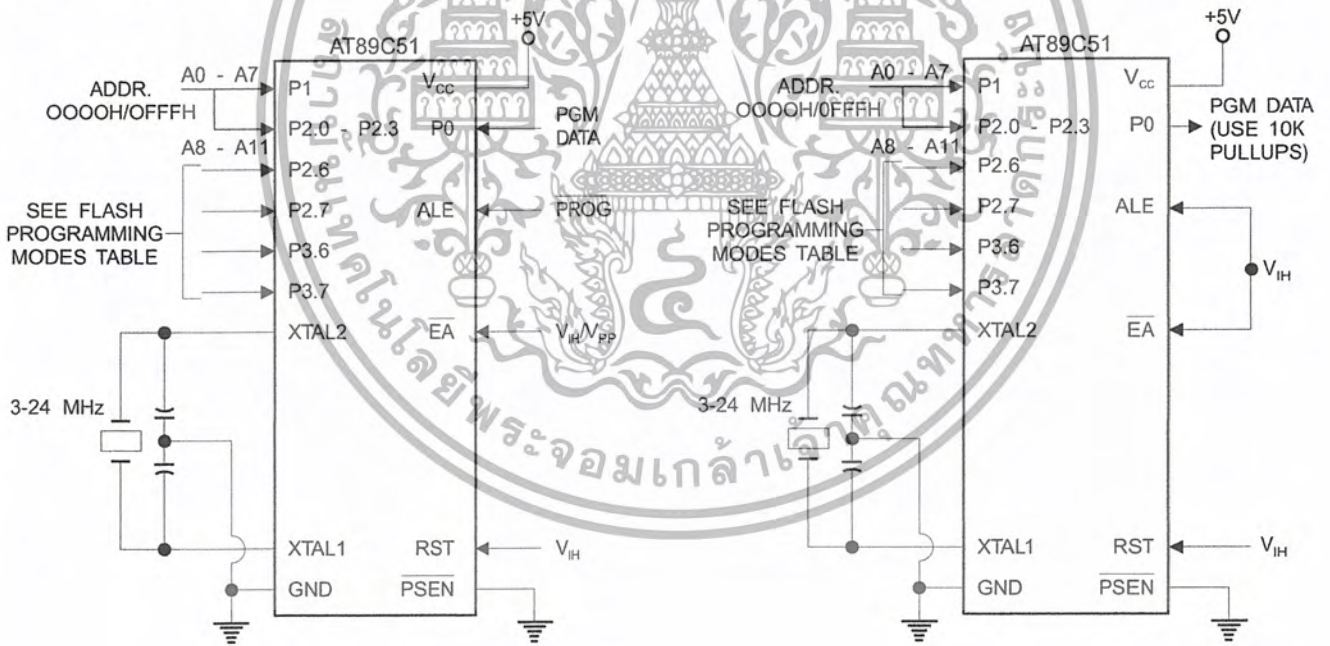
Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{pp}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	L		H/12V	H	H	H	H
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

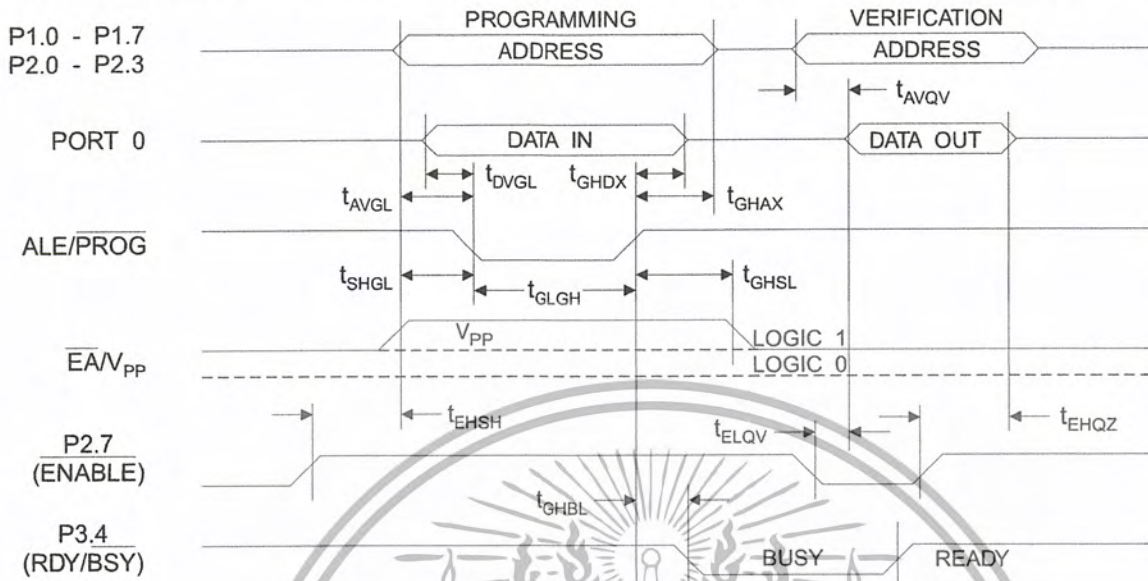
Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

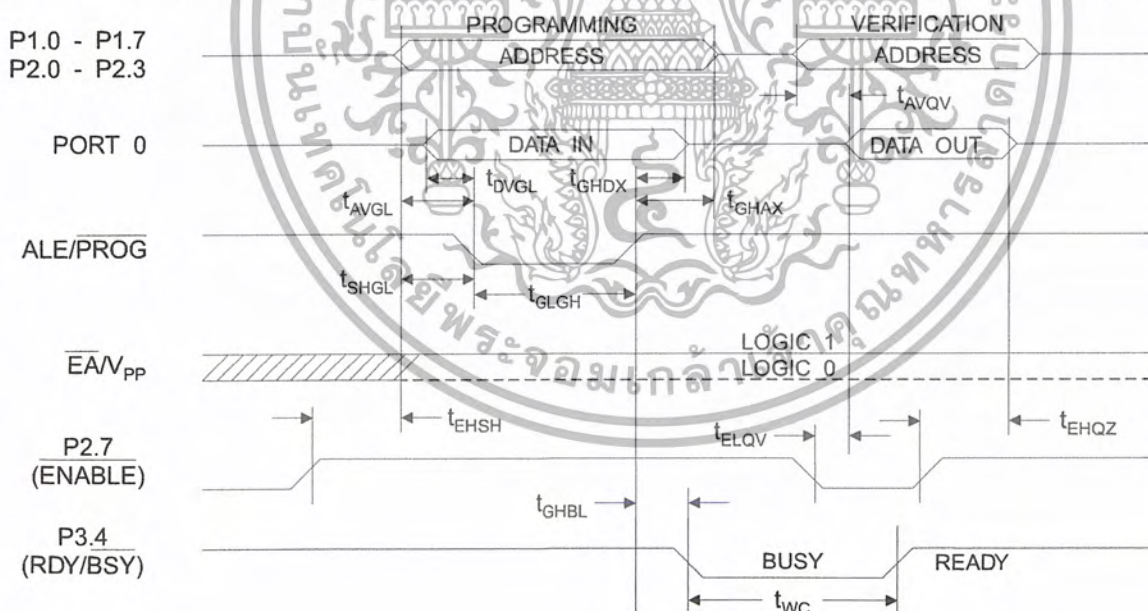
Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHS}	P2.7 (ENABLE) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	ENABLE Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float after ENABLE	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to BUSY Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0V ± 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V _{IL}	Input Low-voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	0.2 V _{CC} - 0.1	V
V _{IL1}	Input Low-voltage (\overline{EA})		-0.5	0.2 V _{CC} - 0.3	V
V _{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V
V _{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V
V _{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	I _{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V _{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	I _{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V _{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	I _{OH} = -60 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -25 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -10 μA	0.9 V _{CC}		V
V _{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I _{OH} = -800 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -300 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -60 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 0.45V		-50	μA
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 2V, V _{CC} = 5V ± 10%		-650	μA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	0.45 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	KΩ
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C		10	pF
I _{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 6V		100	μA
		V _{CC} = 3V		40	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics

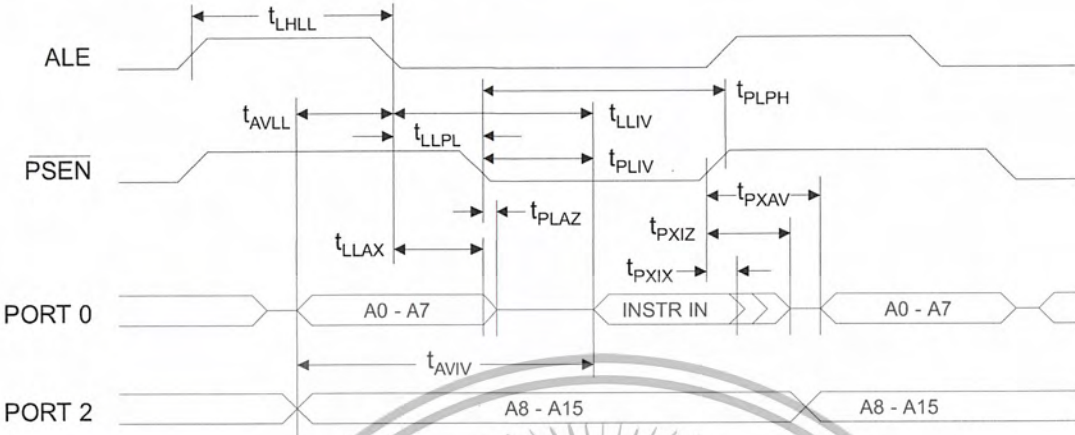
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

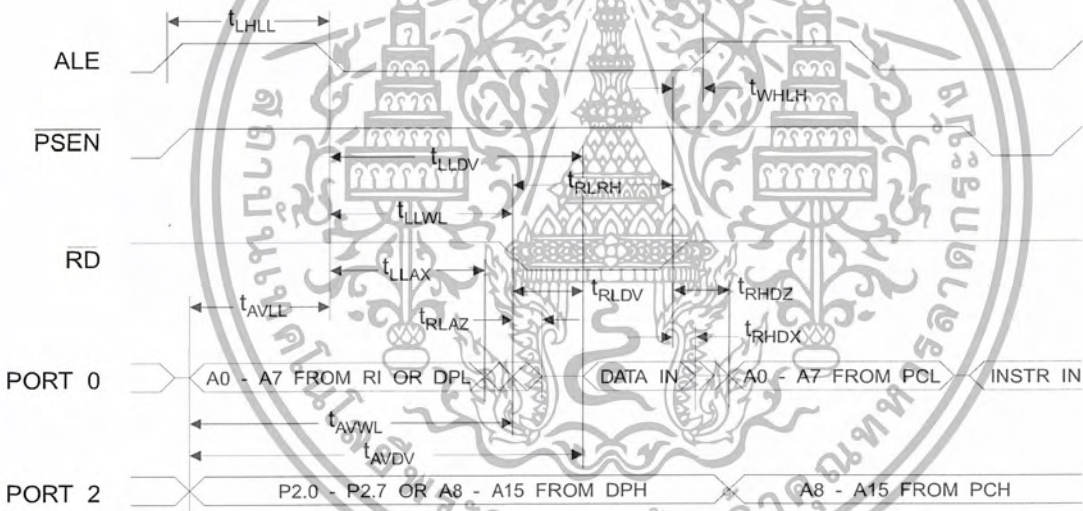
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold after ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold after $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float after $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold after $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float after $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold after $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns



External Program Memory Read Cycle

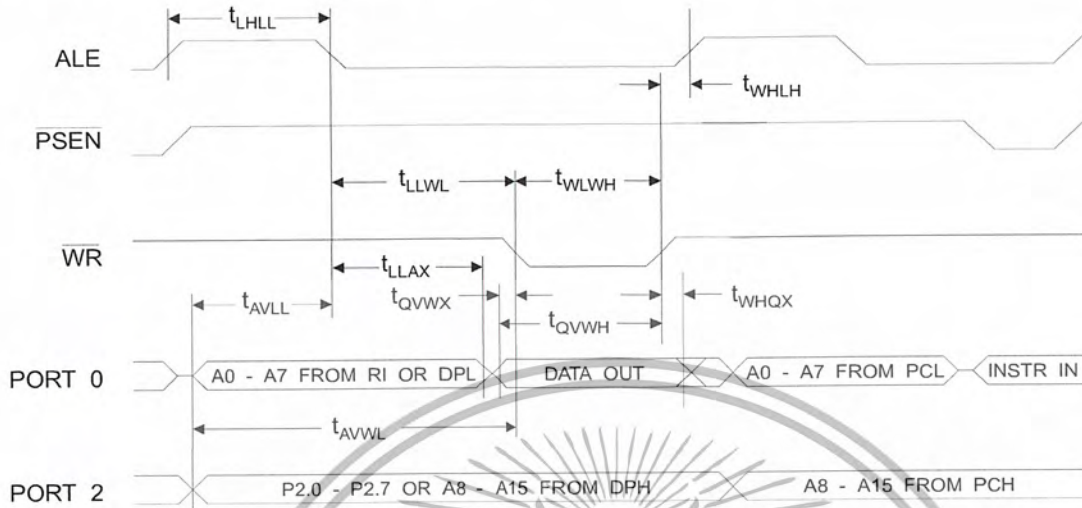


External Data Memory Read Cycle

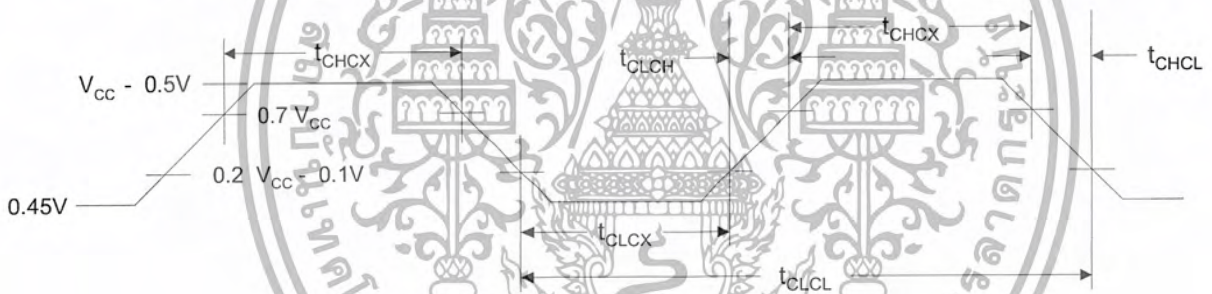


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

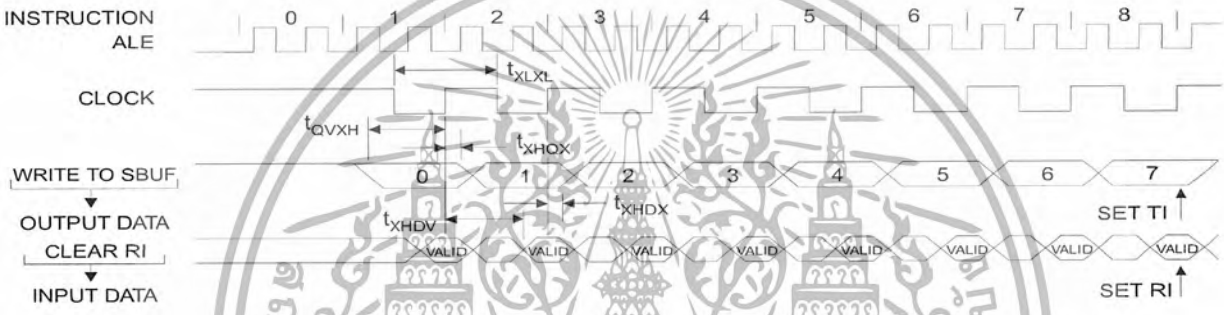


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

(V_{CC} = 5.0 V ±20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t _{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		µs
t _{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
t _{XHQX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -117		ns
t _{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t _{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t _{CLCL} -133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms (1)

Float Waveforms (1)



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ±20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ±20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

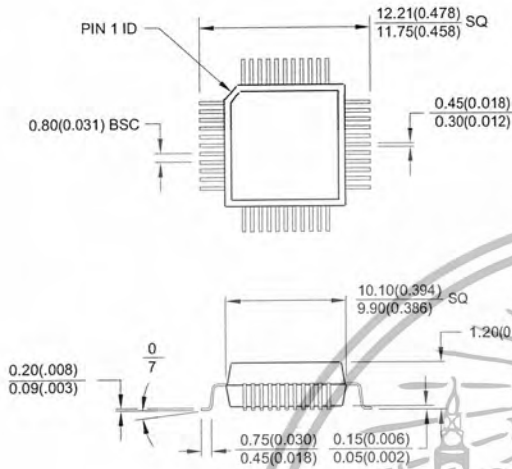
Package Type

44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



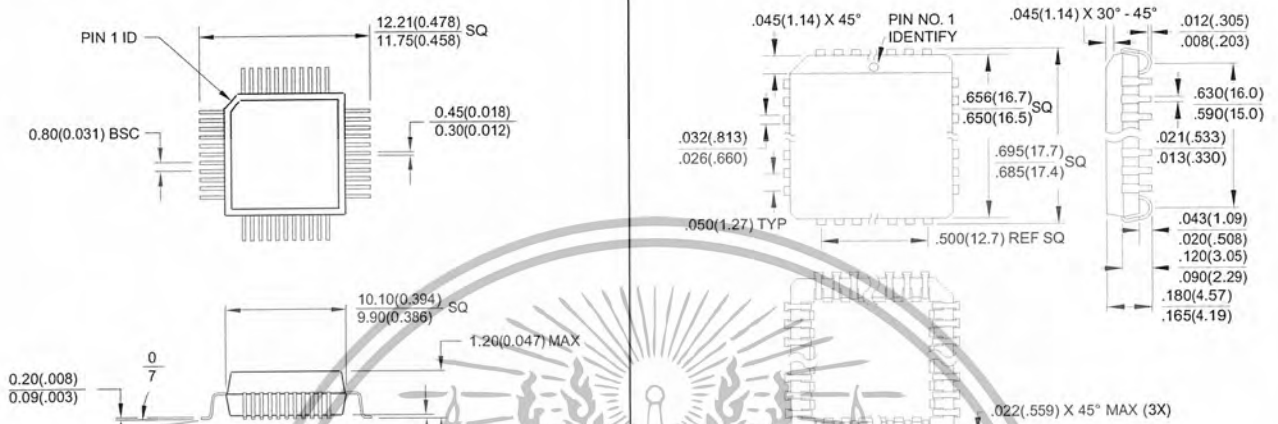
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

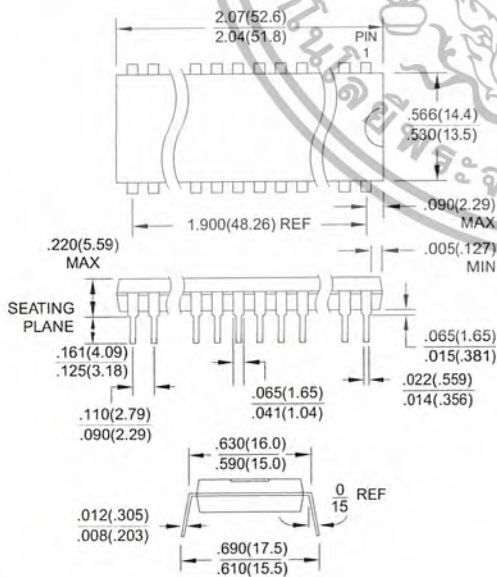


Controlling dimension: millimeters

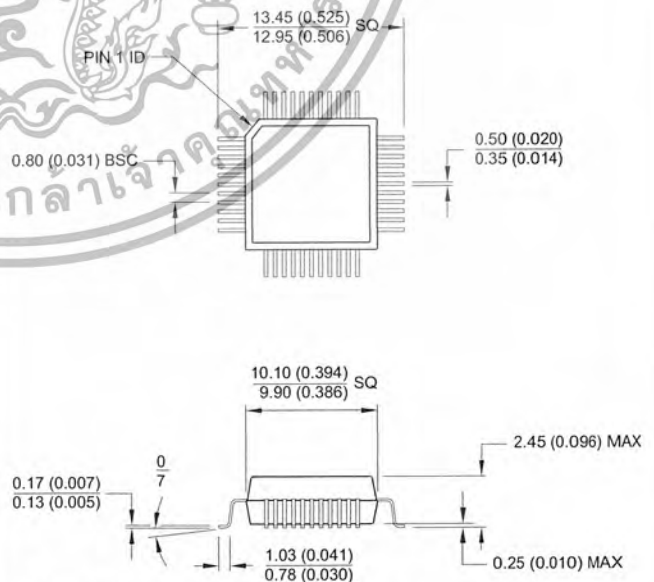
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



Atmel Headquarters

Corporate Headquarters

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs

1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001



Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

<http://www.atmel.com>

BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0265G-02/00/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



PCF8591 8-bit A/D and D/A converter

Product specification
Supersedes data of 1997 Apr 02
File under Integrated Circuits, IC12

1998 Jul 02



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

CONTENTS

1	FEATURES
2	APPLICATIONS
3	GENERAL DESCRIPTION
4	ORDERING INFORMATION
5	BLOCK DIAGRAM
6	PINNING
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Control byte
7.3	D/A conversion
7.4	A/D conversion
7.5	Reference voltage
7.6	Oscillator
8	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
8.1	Bit transfer
8.2	Start and stop conditions
8.3	System configuration
8.4	Acknowledge
8.5	I ² C-bus protocol
9	LIMITING VALUES
10	HANDLING
11	DC CHARACTERISTICS
12	D/A CHARACTERISTICS
13	A/D CHARACTERISTICS
14	AC CHARACTERISTICS
15	APPLICATION INFORMATION
16	PACKAGE OUTLINES
17	SOLDERING
17.1	Introduction
17.2	DIP
17.2.1	Soldering by dipping or by wave
17.2.2	Repairing soldered joints
17.3	SO
17.3.1	Reflow soldering
17.3.2	Wave soldering
17.3.3	Repairing soldered joints
18	DEFINITIONS
19	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
20	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
PCA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1



3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

1998 Jul 02

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

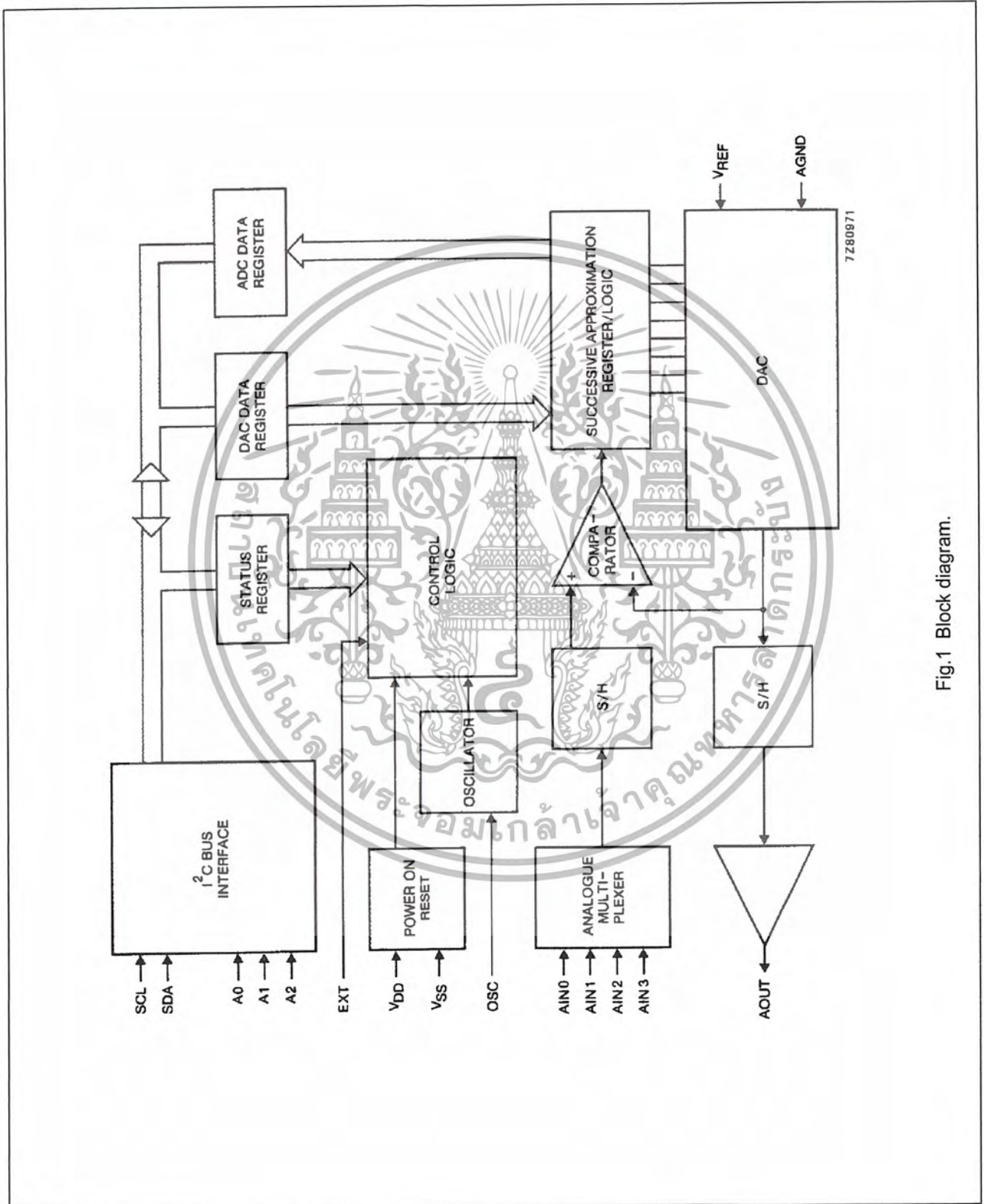


Fig.1 Block diagram.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V _{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V _{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V _{DD}	16	positive supply voltage

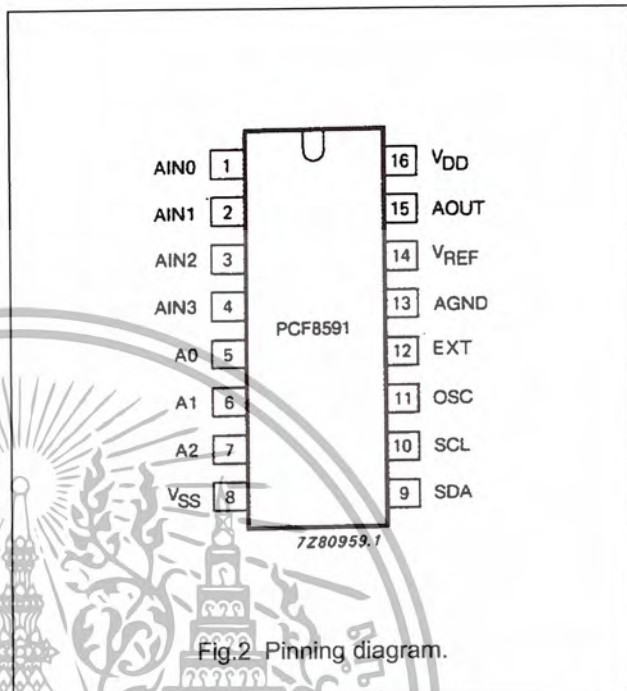


Fig.2 Pinning diagram.



1998 Jul 02 เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

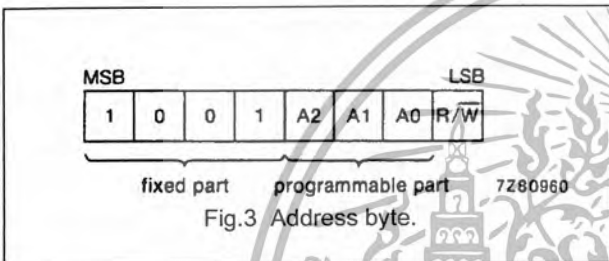
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

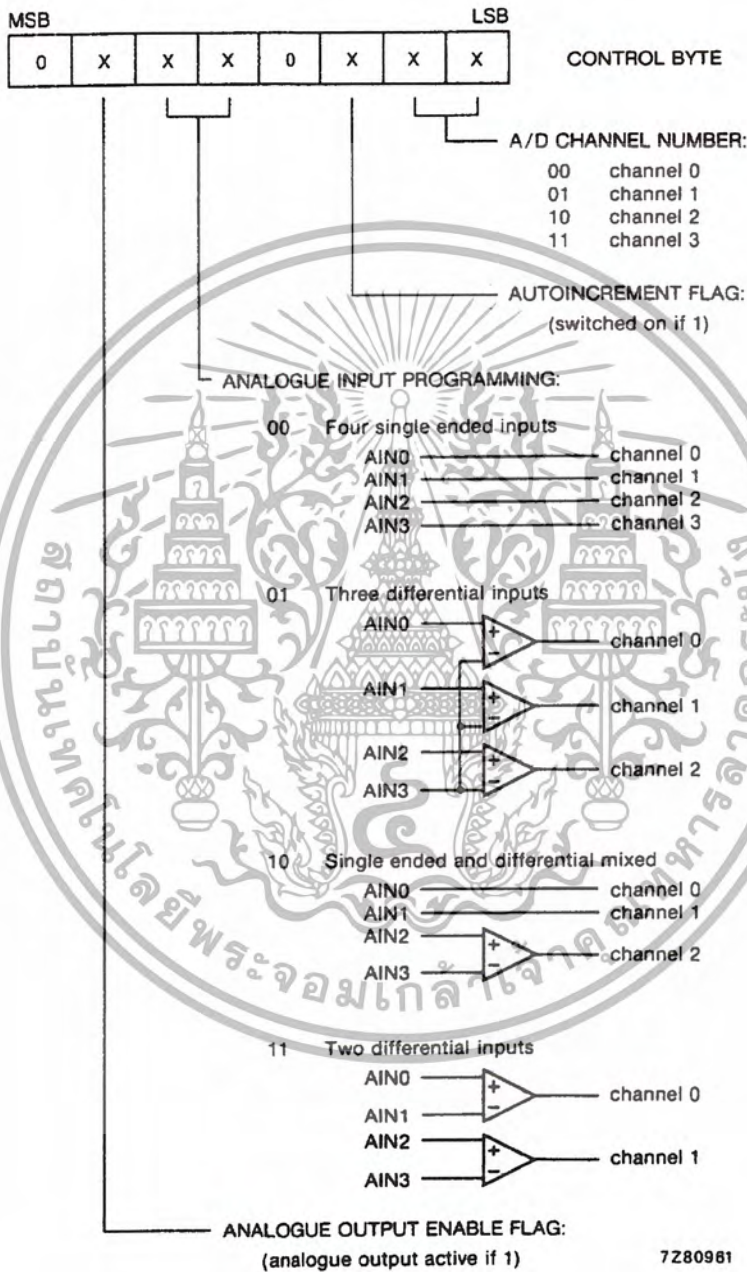


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

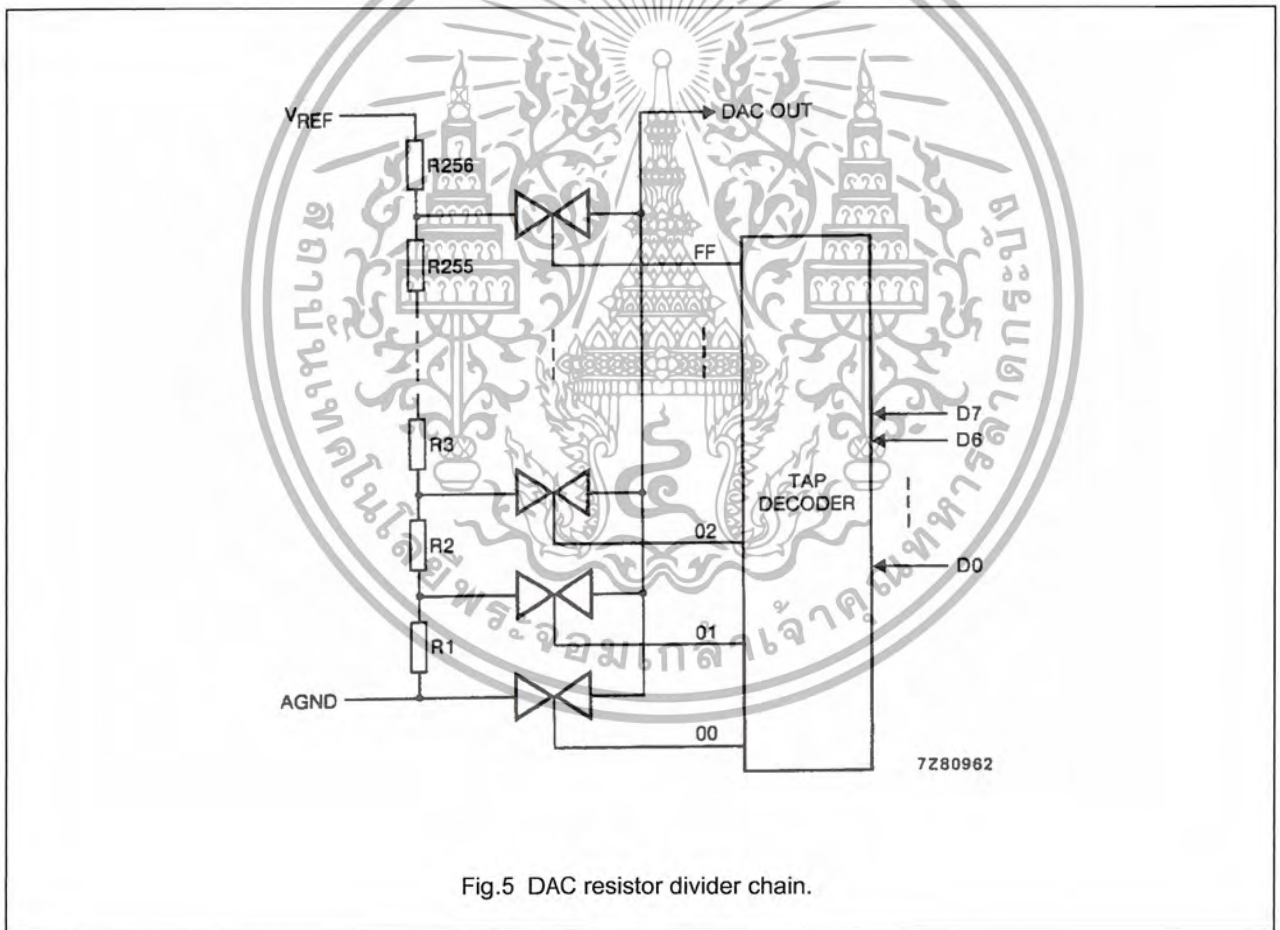


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

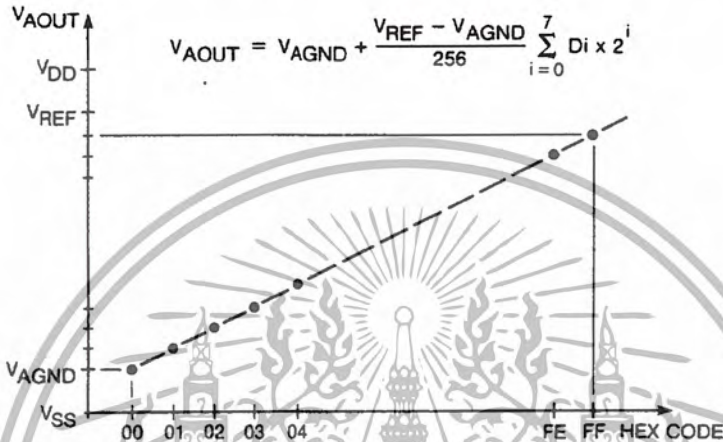
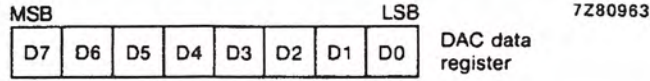


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

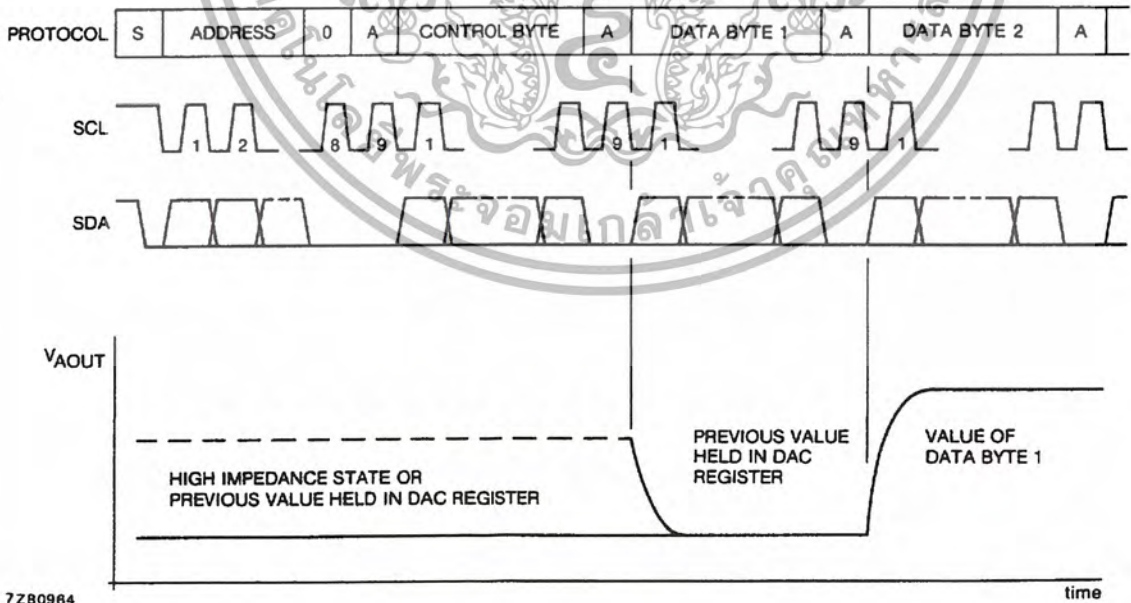


Fig.7 D/A conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I²C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I²C-bus.

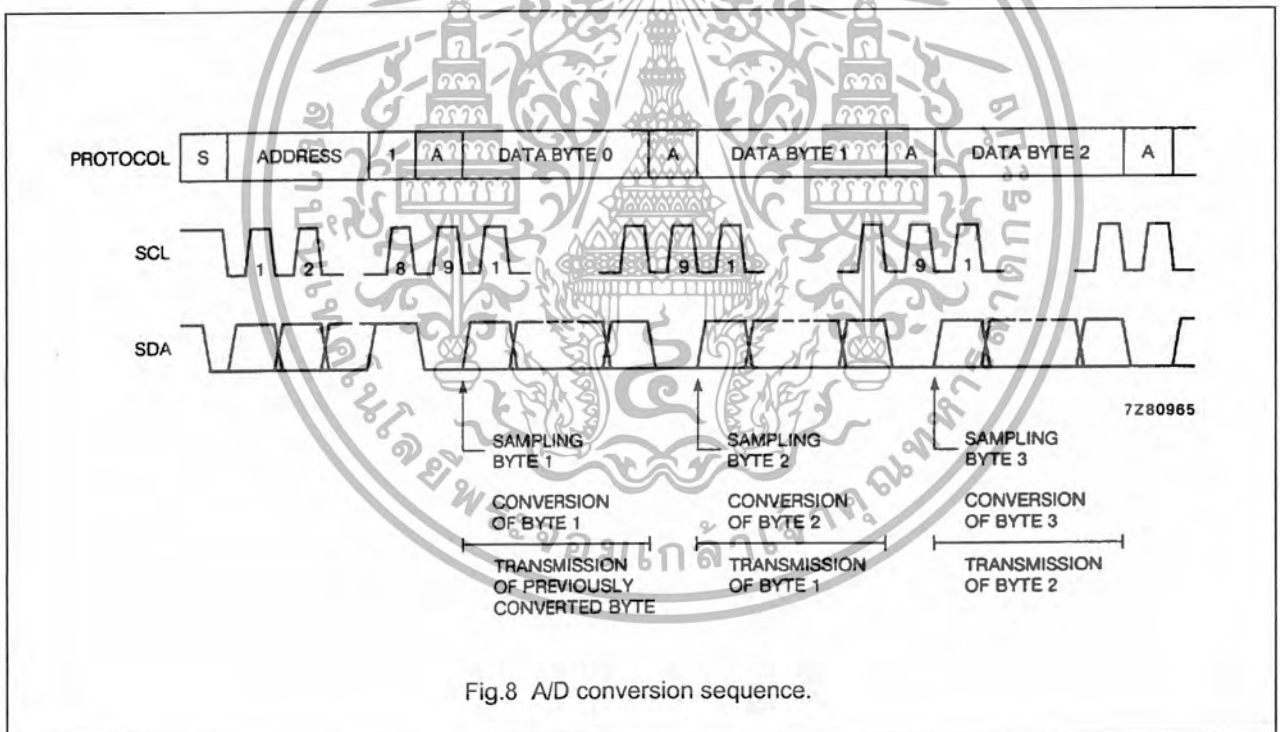


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

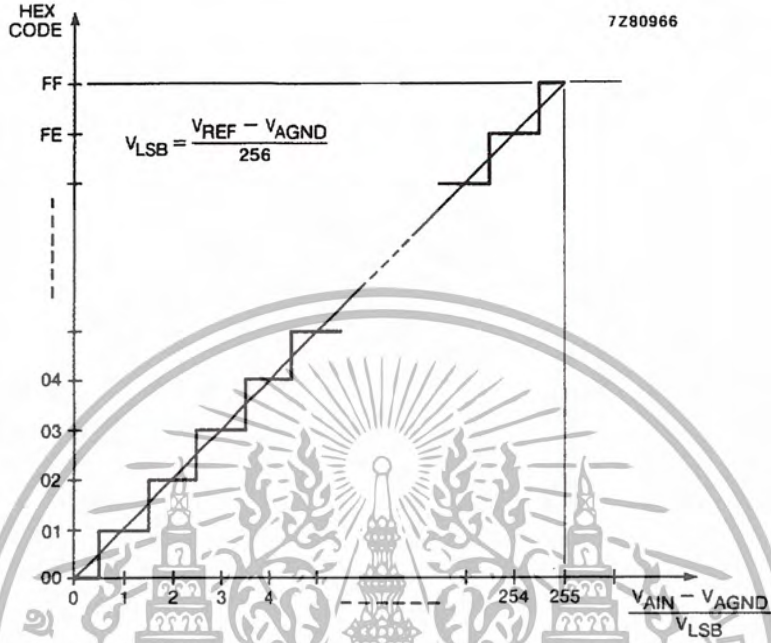


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

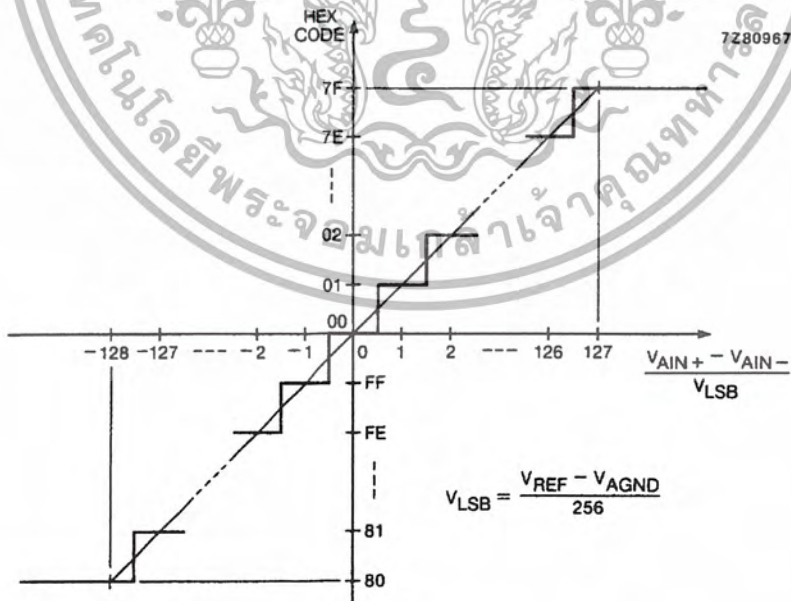


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS} .

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS} . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.



8-bit A/D and D/A converter

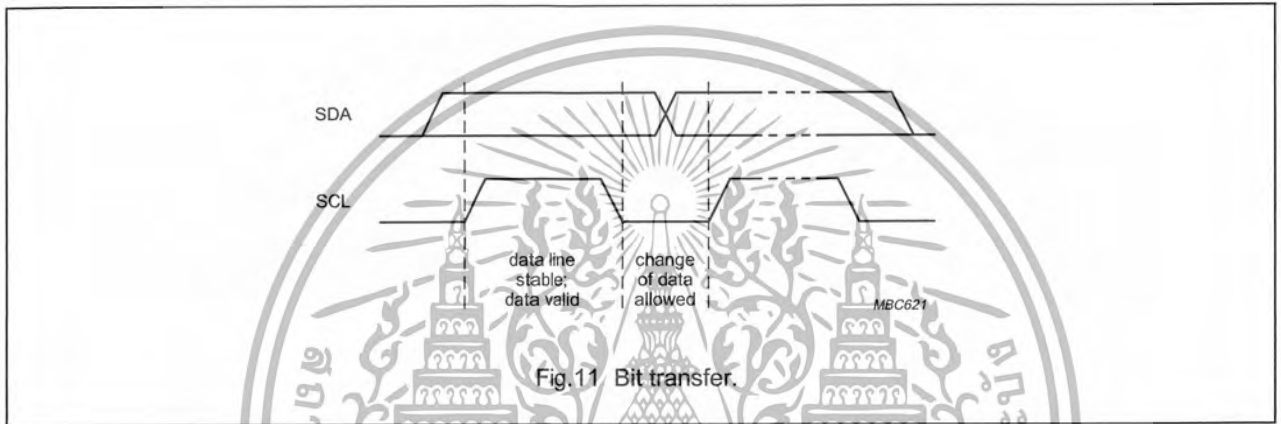
PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

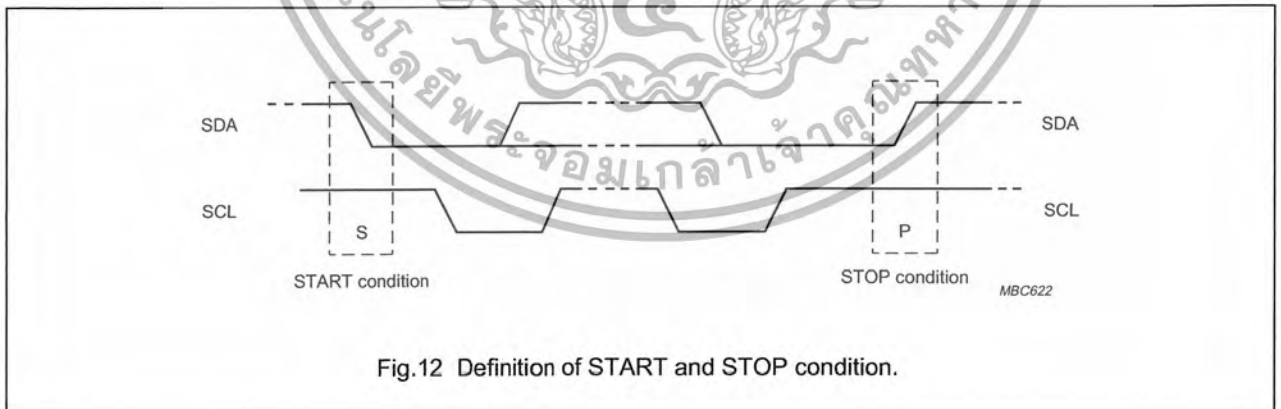
8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.



8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

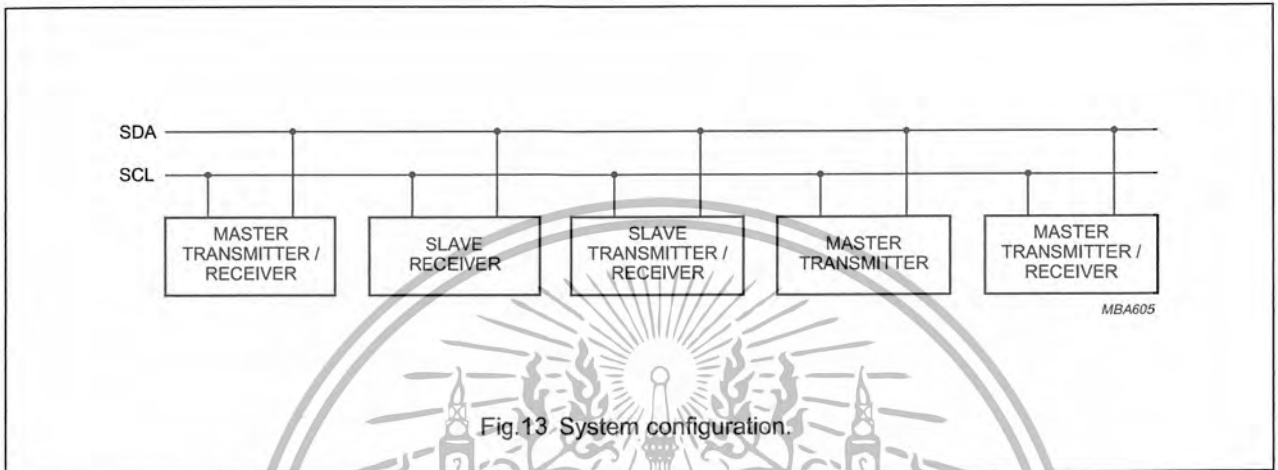


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

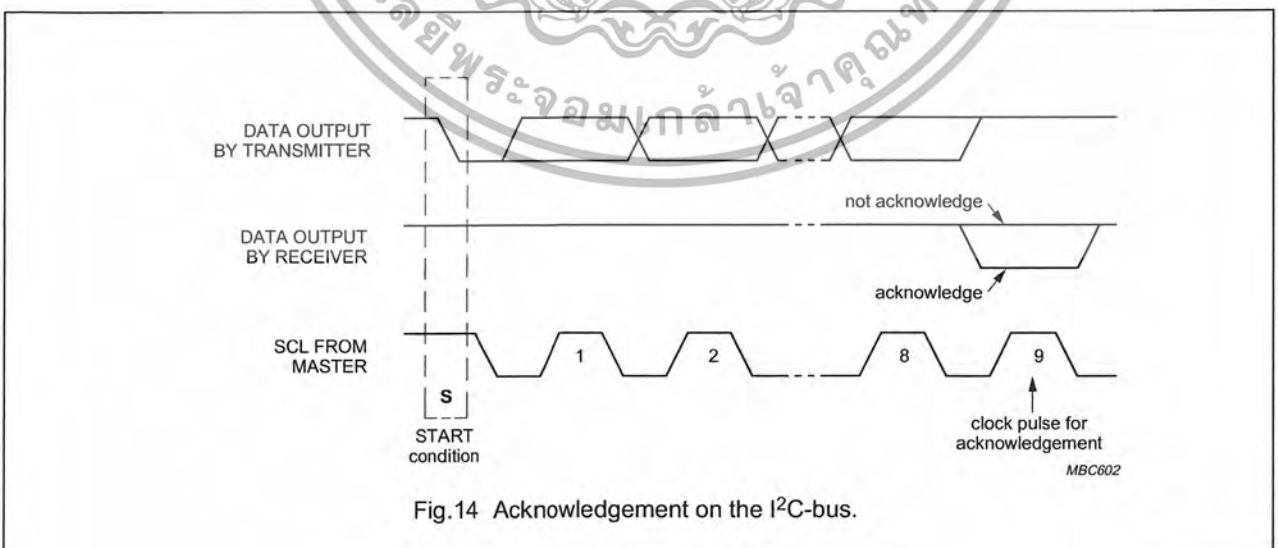


Fig.14 Acknowledgement on the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

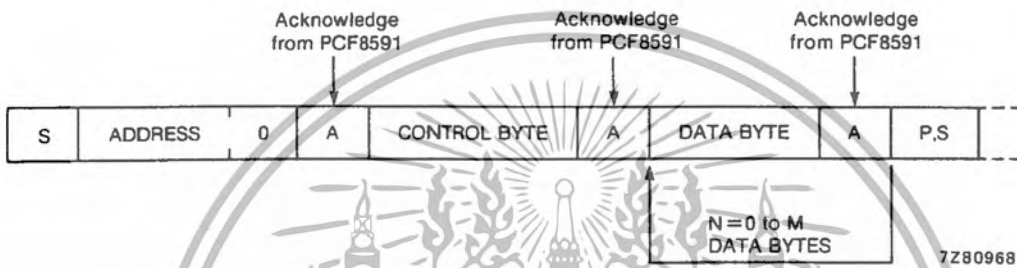


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

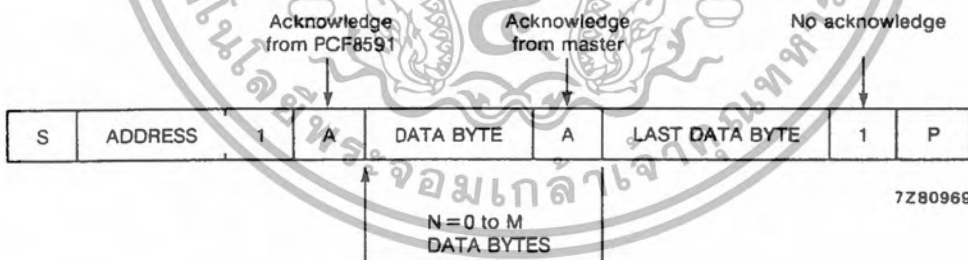


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	-0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
I_I	DC input current	-	± 10	mA
I_O	DC output current	-	± 20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	-	± 50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	-	300	mW
P_O	power dissipation per output	-	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	-40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	-65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under "Handling MOS Devices".



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

11 DC CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 2.5 \text{ V to } 6 \text{ V}$; $V_{SS} = 0 \text{ V}$; $T_{amb} = -40 \text{ }^\circ\text{C to } +85 \text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	–	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS} \text{ or } V_{DD}$; no load	–	1	15	μA
	operating, AOUT off	$f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$	–	125	250	μA
	operating, AOUT active	$f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$	–	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	–	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	–	V_{DD}	V
I_L	leakage current A0, A1, A2 SCL, SDA	$V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$	–250	–	+250	nA
		$V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$	–1	–	+1	μA
C_i	input capacitance		–	–	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	$V_{OL} = 0.4 \text{ V}$	3.0	–	–	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	$V_{SS} + 1.6$	–	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	–	$V_{DD} - 0.8$	V
I_{LI}	input leakage current		–250	–	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	–	100	–	$\text{k}\Omega$
Oscillator: OSC, EXT						
I_{LI}	input leakage current		–	–	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	–	1.25	MHz

Notes

- The power on reset circuit resets the I²C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR} .
- A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8\text{V}, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4\text{V}$$

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

12 D/A CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 100\text{ pF}$; $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	–	V_{DD}	V
		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{SS}	–	$0.9 \times V_{DD}$	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	50	mV
L_e	linearity error		–	–	± 1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	–	–	1	%
t_{DAC}	settling time	to $\frac{1}{2}$ LSB full scale step	–	–	90	μs
f_{DAC}	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB

13 A/D CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_S = 10\text{ k}\Omega$; $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	–	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		–	–	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		–	10	–	pF
C_{ID}	differential input capacitance		–	10	–	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	–	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range; $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$\frac{V_{FS}}{2}$	–	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	20	mV
L_e	linearity error		–	–	± 1.5	LSB
G_e	gain error		–	–	1	%
GS_e	small-signal gain error	$\Delta V_i = 16\text{ LSB}$	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB
t_{ADC}	conversion time		–	–	90	μs
f_{ADC}	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

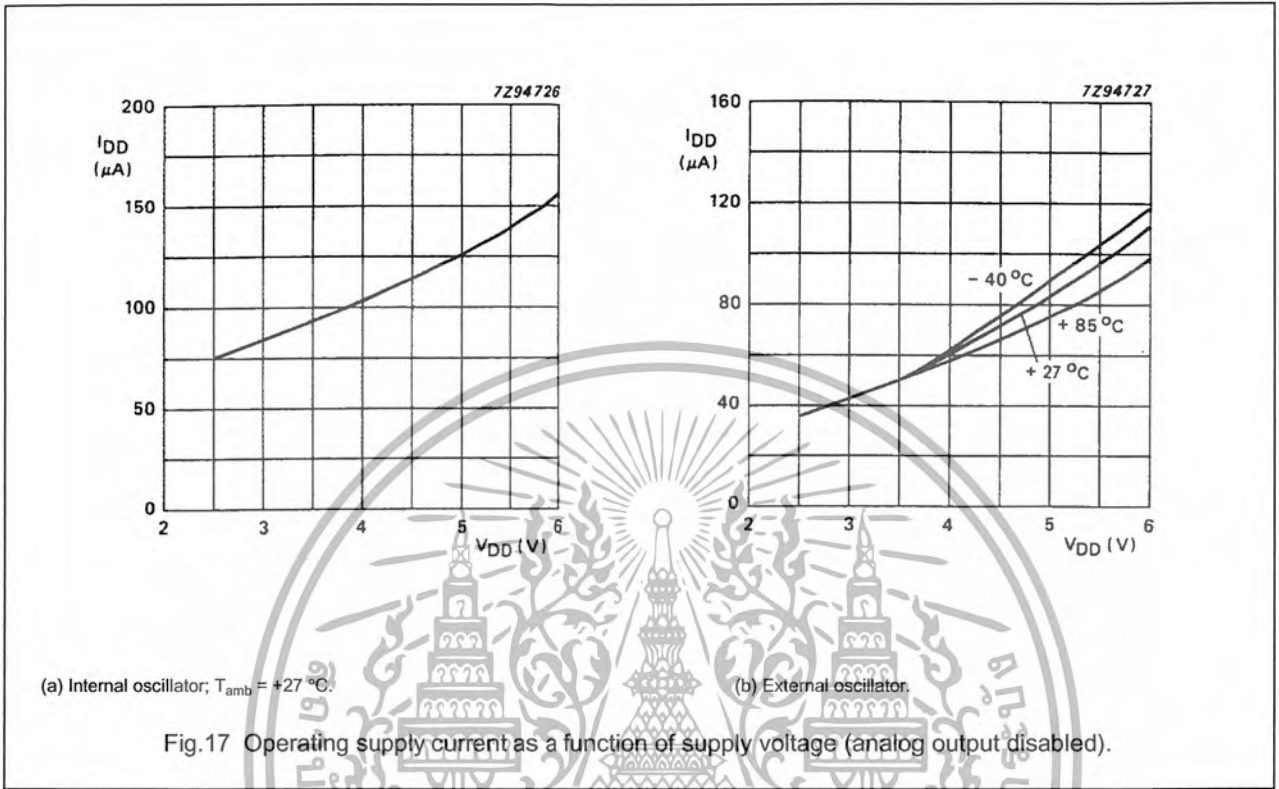
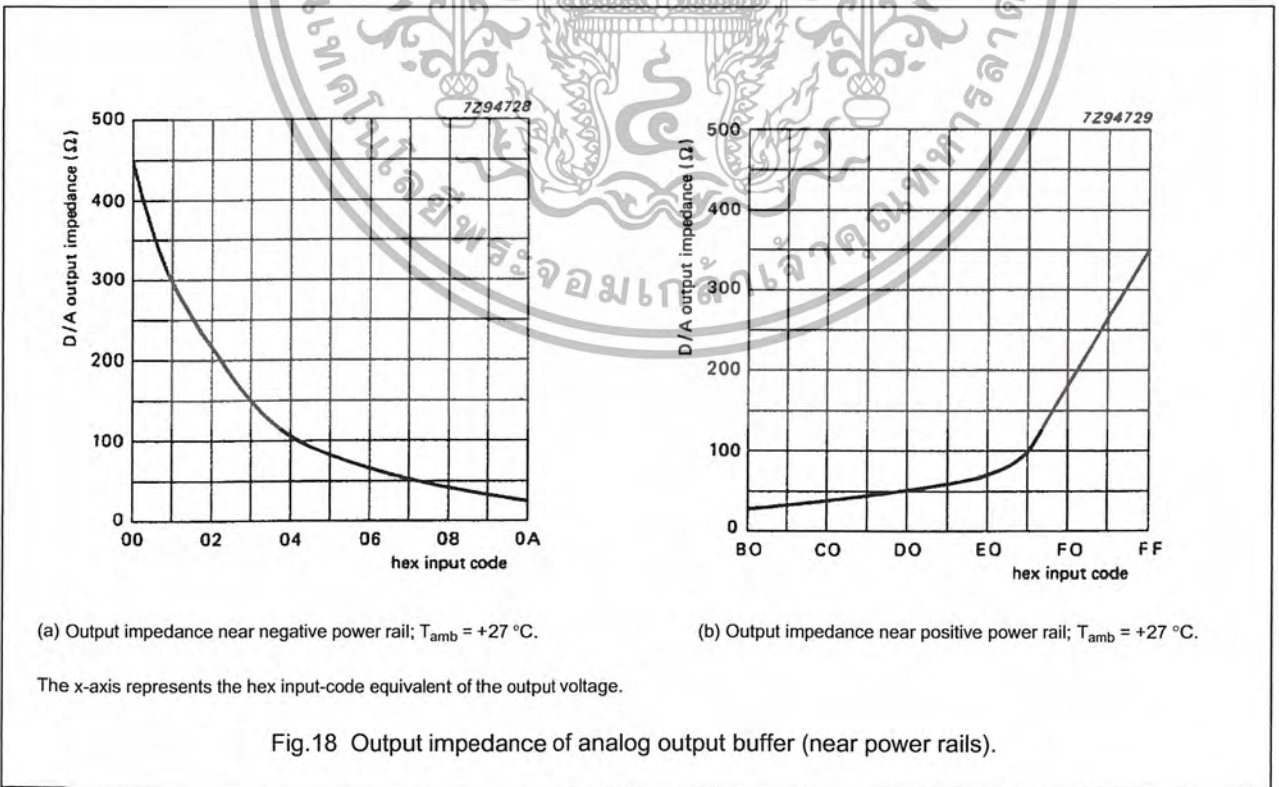


Fig.17 Operating supply current as a function of supply voltage (analog output disabled).



(a) Output impedance near negative power rail; $T_{amb} = +27^\circ C$.

(b) Output impedance near positive power rail; $T_{amb} = +27^\circ C$.

The x-axis represents the hex input-code equivalent of the output voltage.

Fig.18 Output impedance of analog output buffer (near power rails).

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD} .

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.19; note 1)					
f_{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t_{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t_{BUF}	bus free time	4.7	–	–	μ s
$t_{SU;STA}$	START condition set-up time	4.7	–	–	μ s
$t_{HD;STA}$	START condition hold time	4.0	–	–	μ s
t_{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	μ s
t_{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	μ s
t_r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	μ s
t_f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	μ s
$t_{SU;DAT}$	data set-up time	250	–	–	ns
$t_{HD;DAT}$	data hold time	0	–	–	ns
$t_{VD;DAT}$	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	μ s
$t_{SU;STO}$	STOP condition set-up time	4.0	–	–	μ s

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure "The I²C-bus and how to use it". This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

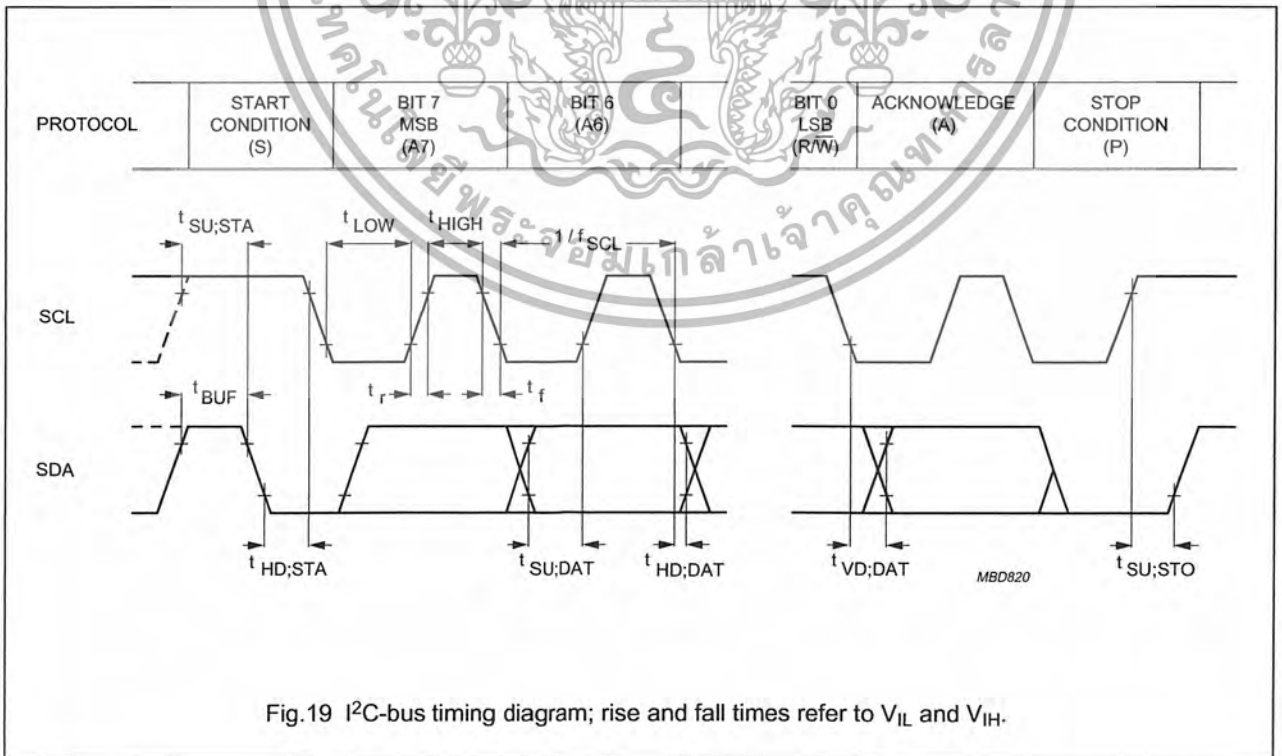


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH} .

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF} .

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors ($>10 \mu\text{F}$) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

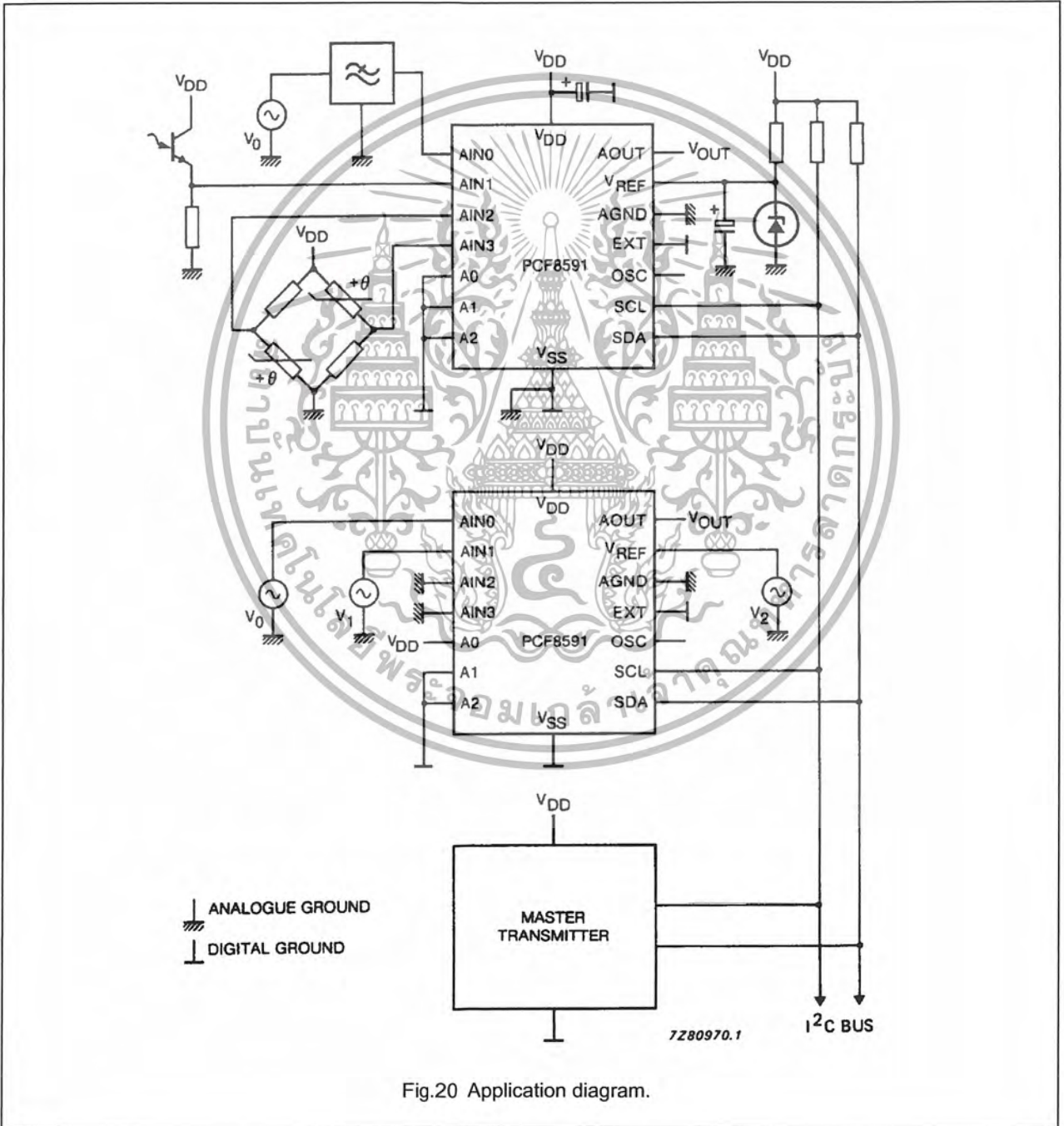


Fig.20 Application diagram.

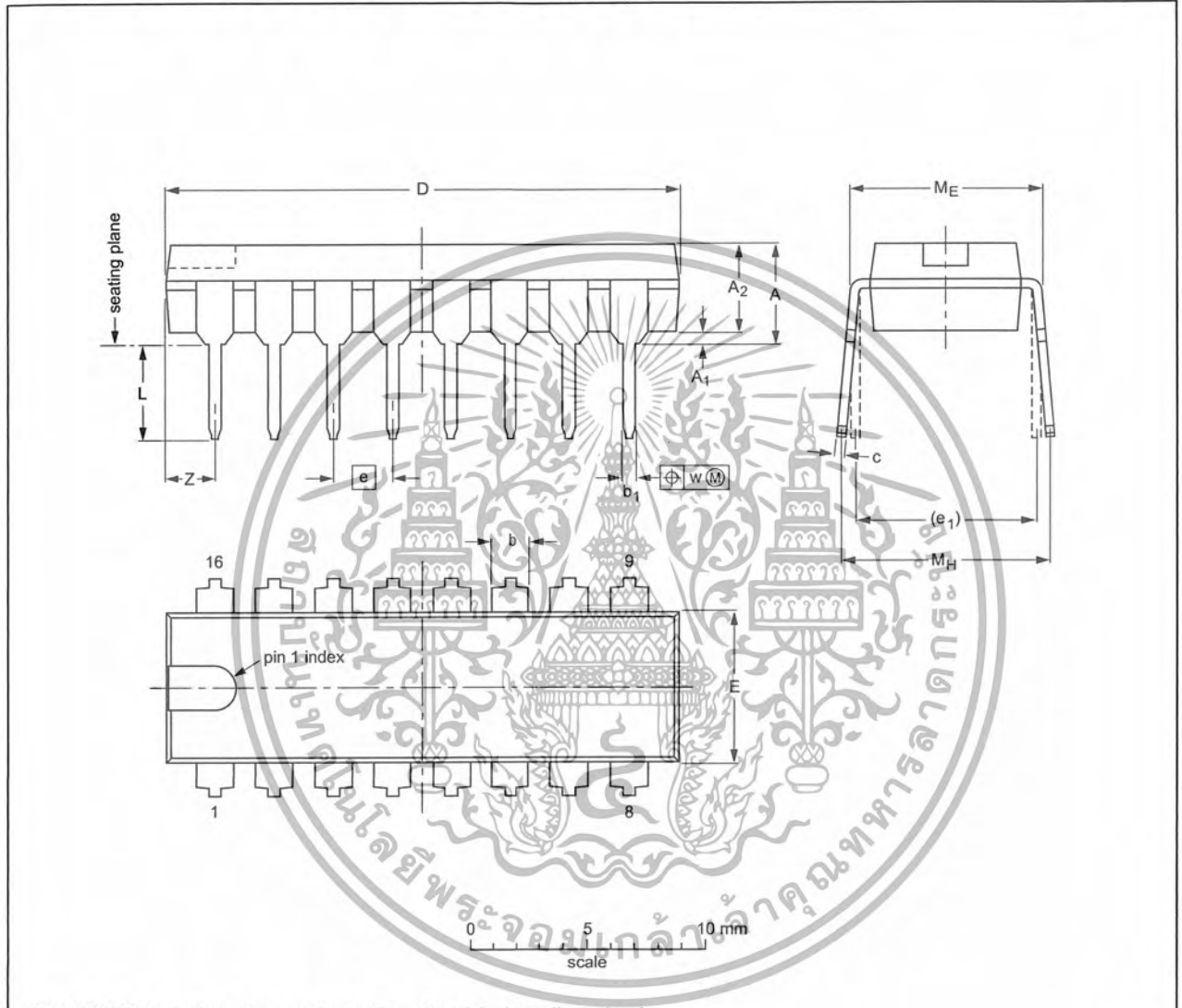
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body

SOT38-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

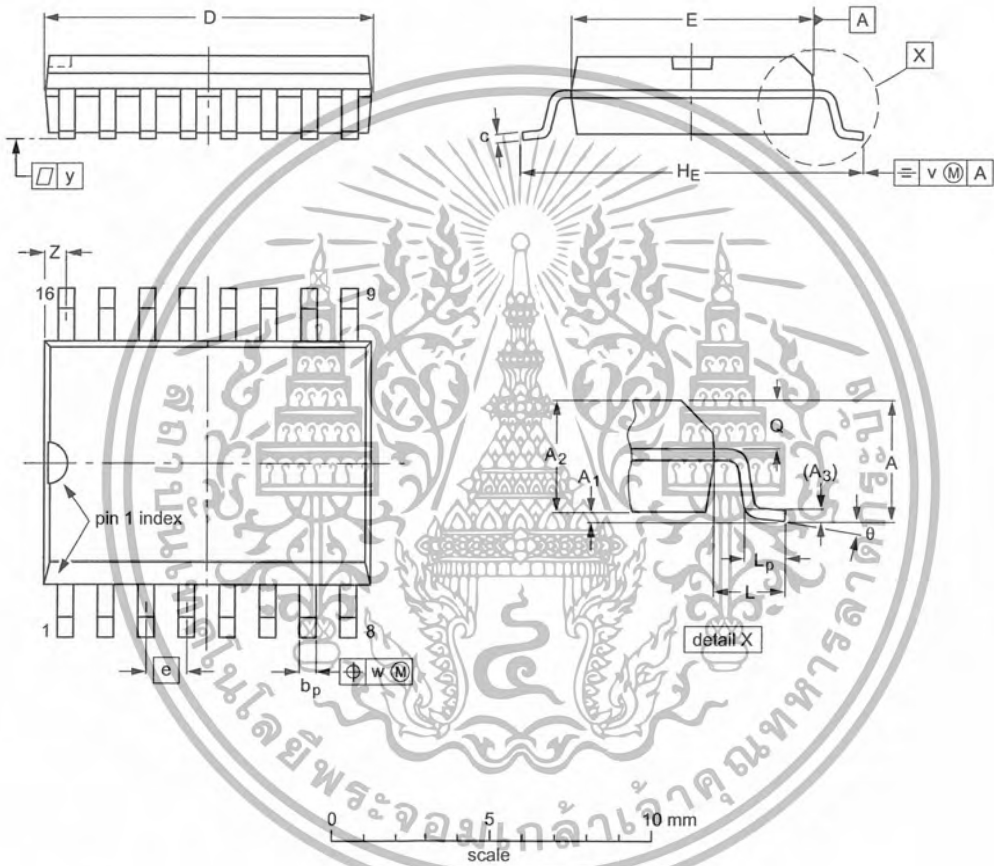
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-1	050G09	MO-001AE			92-10-02 95-01-19

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm

SOT162-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.49 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.419 0.394	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT162-1	075E03	MS-013AA			-95-01-24 97-05-22

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

17 SOLDERING

17.1 Introduction

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages" (order code 9398 652 90011).

17.2 DIP

17.2.1 SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{slg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

17.2.2 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

17.3 SO

17.3.1 REFLOW SOLDERING

Reflow soldering techniques are suitable for all SO packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of fine solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or pressure-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method. Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C.

Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

17.3.2 WAVE SOLDERING

Wave soldering techniques can be used for all SO packages if the following conditions are observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow.
- The package footprint must incorporate solder thieves at the downstream end.

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

17.3.3 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

18 DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips' I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES



Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113, Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 160 1010, Fax. +43 160 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6, 220050 MINSK, Tel. +375 172 200 733, Fax. +375 172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor, 51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA, Tel. +359 2 689 211, Fax. +359 2 689 102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS, Tel. +1 800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre, 72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG, Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S, Tel. +45 32 88 2636, Fax. +45 31 57 0044

Finland: Sinikalliontie 3, FIN-02630 ESPOO, Tel. +358 9 615800, Fax. +358 9 61580920

France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex, Tel. +33 1 40 99 6161, Fax. +33 1 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG, Tel. +49 40 23 53 60, Fax. +49 40 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAVROS/ATHENS, Tel. +30 1 4894 339/239, Fax. +30 1 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor, 254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025, Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division, Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510, Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14, Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053, TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3, 20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL, Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR, Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905, Tel. +9-5 800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB, Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND, Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO, Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc., 106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI, Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA, Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW, Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762, Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale, 2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000, Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor, 04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil, Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA, Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM, Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

Switzerland: Alimendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH, Tel. +41 1 488 2741, Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1, TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2865, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd., 209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260, Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL, Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7, 252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes, MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409, Tel. +1 800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD, Tel. +381 11 625 344, Fax. +381 11 635 777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors, International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218, 5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1998

SCA60

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

415106/1200/04/pp28

Date of release: 1998 Jul 02

Document order number: 9397 750 04058

Let's make things better.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Philips
Semiconductors
Philips
PHILIPS