



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี  
 Temperature Calibration Set For Rtd

ชื่อนักศึกษา	1. นายคนัย	จันทรสิริ	รหัสประจำตัว	45035420
	2. นางสาวนาคยา	ตรีวุฒิ	รหัสประจำตัว	45035424
	3. นายพงศกร	กัญญา	รหัสประจำตัว	45035426
	4. นายวโรดม	เครือวรรณ	รหัสประจำตัว	45035434

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	
2. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
3. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สวัสดิ์	
4. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	
5. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เวลา 9:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(นายสุรสิทธิ์ ราษฎร์)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



<BT4610312>

เอกสารนี้เป็นชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นเข้าใช้ระบบจะขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปฏิญานិพนธ์

ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

TEMPERATURE CALIBRATION SET FOR RTD



นายคนัย จันทรสิริ  
นางสาวนาดยา ศรีวุฒิ  
นายพงศกร กัญญา  
นายวโรดม เกรือวรพันธ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 51074/  
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2547

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

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

Temperature Calibration Set For RTD

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ
2. เพื่อออกแบบ โครงสร้างและวงจรของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
3. เพื่อสร้างชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีและวิธีการสอบเทียบอาร์ทีดี
4. เพื่อทดสอบการทำงานและปรับปรุงชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
5. เพื่อนำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีไปใช้งาน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับหลักการการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
2. ได้โครงสร้างและวงจรของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
3. ได้เครื่องต้นแบบของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดีและวิธีการสอบเทียบอาร์ทีดี
4. ได้ทดสอบการทำงานและปรับปรุงแก้ไขชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
5. ได้นำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดี ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี
นักศึกษา	นายคนัย จันทรสुरิ
	นางสาวนาคยา ตริวุฒิ
	นายพงศกร กัญญา
	นายวโรดม เกรื่อวรพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดี ชุดสอบเทียบ แบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของตัววัดและอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ส่วนที่สองเป็นส่วนของตัวคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่ สาม เป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกส่วนที่สี่เป็นอุปกรณ์เพิ่มลดกระแสสำหรับฮีตเตอร์ ซึ่งเป็นชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดีที่ทำให้เข้าใจถึงหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรมโดยมีความผิดพลาดในการวัดและควบคุมประมาณ  $\pm 0.5$  เปอร์เซ็นต์

## II

<b>Thesis</b>	Temperture Calibration Set For RTD
<b>Students</b>	Mr.Danai Juntarasuri Miss.Nattaya Treewut Mr.Pongsakorn Gunja Mr.Varodom Kruewaraphan
<b>Advisor</b>	Mr.Surapong Siripongdee
<b>Co – Advisor</b>	Mr.Amornchai Chaichana
<b>Education</b>	Bachelor of Science in Industrial Education
<b>Program in</b>	Industrial Instrument Technology
<b>Academic Year</b>	2003

### ABSTRACT

The thesis proposed for construction of Temperature Calibration set for RTD. The Temperature Calibration set for RTD consisted of 4 part ; the first one is the measure parts and the signal convertor from analog to digital , the second part is a controller , the third is a signal convertor form digital to be analog and the forth one is the voltage regulator for heatter.

Temperature Calibration set for RTD reveated the principle of measure and control in industrial. The error of the package is  $\pm 0.5$  percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จและเป็นไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องงานไม่ว่าจะเป็น ทางด้านฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ก็ตาม ตลอดจนคุณจารย์ในภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้ให้ความอำนวยความสะดวกไม่ว่าจะเป็นทางด้านข้อมูลหรืออุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ ต่อการทดลองด้วยดีเสมอมา และทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์พัช พงษ์แก้ว ตลอดจนคุณจารย์วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานีทุกท่าน ซึ่งได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่พบในการทำงานและทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ คุณรัตนะ มั่งมูล ที่ได้แนะแนวทางในด้านการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งให้พวกเราได้รับการศึกษามาตั้งแต่อดีตจนถึงขณะนี้ อนึ่งคุณประโยชน์ตลอดจนคุณความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แด่คุณพ่อ คุณแม่ คุณครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งหลายมาครั้นแต่อดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบันตลอดจนเพื่อนฝูงที่ร่วมทำงานด้วยกันแม้ว่าพวกเราอาจจะมี ปัญหาในการทำงานก็ตามจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ขีดความสามารถ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	4
2.1.2 อาร์ทีดี	5
2.1.3 โครงสร้างของอาร์ทีดี	7
2.1.4 ฮีตเตอร์	10
2.1.5 ประเภทของฮีตเตอร์	10
2.1.6 ฮีตเตอร์แห้ง	11
2.1.7 รหัสการสั่งทำที่ ไอ ซี	12
2.1.8 การคำนวณวัตต์ของฮีตเตอร์แห้ง	12
2.1.9 ฮีตเตอร์ที่อกลม	14
2.2 การวัดอุณหภูมิ	14
2.2.1 องค์ประกอบการวัดอุณหภูมิเบื้องต้น	15
2.2.2 ชนิดและวิธีการวัดอุณหภูมิ	17
2.2.3 ระบบการวัดโดยทั่วไป	17
2.3 การเปรียบเทียบ	18
2.3.1 การทำการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.2 ช่วงระยะเวลาการเปรียบเทียบอุณหภูมิ	19
2.3.3 กรณีต้องการกำหนดระยะเวลาการเปรียบเทียบเอง	19
2.3.4 ความสำคัญของการเปรียบเทียบ	19
2.4 ความแม่นยำและความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิ	20
2.4.1 วิธีการคำนวณความแม่นยำ	21
2.5 ลักษณะสมบัติของโปรเซส	22
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของโปรเซส	23
2.5.2 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม	25
2.5.3 วิธีการปรับค่าพีไอดี	30
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	38
2.6.1 คุณสมบัติทางเทคนิคและโครงสร้างการทำงานพื้นฐาน ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2	38
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	42
3.1 ทฤษฎีสถานะสัญญาณ	42
3.2 วงจรสถานะสัญญาณ	42
3.2.1 วงจรคอนโทรลเลอร์	42
3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	45
3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	46
3.2.4 วงจรควบคุมฮาร์ดแวร์	47
3.2.5 วงจรควบคุมพัลลัม	48
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	50
4.1 บทนำ	50
4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	50
4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง	53
4.2.3 ผลการทดลอง	54
4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	54
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.2 ผลการทดลอง	55
4.4 วงจรควบคุมฮีสเตอร์	55
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	56
4.4.2 ผลการทดลอง	56
4.5 การนำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีไปสอบเทียบอาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์	56
4.5.1 ขั้นตอนการทดลอง	56
4.5.2 สรุปผลการทดลอง	59
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 สรุป	60
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	60
5.3 แนวทางการพัฒนา	61
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	63
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	66
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	73
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	79
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	96
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	101
ประวัติผู้แต่ง	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของRTD ที่ทำมาจากโลหะประเภทต่างๆ	9
2.2 คุณสมบัติของโลหะชนิดต่างๆ	3
2.3 บอกละเอียดผ่านศูนย์กลาง ความยาว แรงดัน กำลังวัตต์	13
2.4 ลักษณะการใช้งานของโลหะชนิดต่างๆ	14
2.5 ลักษณะสมบัติของโปรเซส	23
2.6 แบบการควบคุม	32
2.7 รีแอกชันเคิร์ฟเมเชิด	35
2.8 อัลทิเมตเซนซิวิตีเมเชิด	36
2.9 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 89C51Rx และ Rx2	40
4.1 เทียบค่าอุณหภูมิ	52
4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	53
4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	55
4.4 การสอบเทียบอาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์	58
4.5 มาตรฐานการคอนโทรล	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	5
2.2 โครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน	7
2.3 วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของ RTD	9
2.4 ฮีตเตอร์แบ่ง	11
2.5 หลักการวัด	15
2.6 องค์ประกอบการวัด	15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวัดกับค่าที่อ่านได้	16
2.8 ระบบการวัดโดยทั่วไป	17
2.9 การนำทรานสมิตเตอร์วัดความดันในแท่งต้	21
2.10 อัตราขยายของกระบวนการ	24
2.11 ตัวควบคุม	25
2.12 การแกว่งของผลการควบคุม	26
2.13 ความหมายของพรีอพออร์ชันนอล แบนด์	27
2.14 ผลตอบของพรีอพออร์ชันนอล แอคชั่น	28
2.15 ผลตอบรีเซ็ต แอคชั่น	29
2.16 ดีแอกชั่นและพีดีแอกชั่น	30
2.17 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	31
2.18 อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง 25% หรือ 1 ต่อ 4	34
2.19 พื้นที่การควบคุมน้อยสุด	34
2.20 รีแอกชั่นเคิร์ฟวเมเชด	35
2.21 โพรเซสเกิดการแกว่ง	36
2.22 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 RD 2	39
2.23 การจัดขาของ 89C51 RD 2	40
3.1 วงจรคอนโทรลเลอร์	44
3.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	46
3.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	47
3.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 วงจรควบคุมพัลลวม	49
4.1 วงจรวีทส โตนบริดจ์	51
4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	53
4.3 วงจรแปลงสัญญาณสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	54
4.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์	56
4.5 อินพุตที่วัดจากขาที่ 15 ของไดแอค	57
4.6 เอาต์พุตที่วัดคร่อมที่ฮีตเตอร์	57
4.7 การนำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีไปสอบเทียบอาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์	57
ก.1 ภาพด้านหน้าของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี	62
ก.2 ภาพด้านข้างของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี	62
ก.3 ภาพด้านหลังของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี	63
ข.1 วงจรคอนโทรล	65
ข.2 แผ่นวงจรคอนโทรล	66
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรคอนโทรล	66
ข.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	67
ข.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	67
ข.6 แผ่นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	68
ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นพิมพ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	68
ข.8 วงจรควบคุมฮีตเตอร์	69
ข.9 วงจรควบคุมพัลลวม	69
ข.10 แผ่นพิมพ์วงจรควบคุมฮีตเตอร์และวงจรควบคุมพัลลวม	70
ข.11 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นพิมพ์วงจรควบคุมฮีตเตอร์และวงจรควบคุมพัลลวม	70
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เครื่องมือวัดในอดีตนั้นได้มีการนำเอาวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้จากสภาพแวดล้อมมาประยุกต์ใช้งาน จากนั้นได้อาศัยหลักการพื้นฐานของวัสดุอุปกรณ์เหล่านั้นเช่นการยืด-หดของท่อนำมาเป็นตัวบอกขนาด หลักการยืดหยุ่นของไดอะแฟรม ฯลฯ ซึ่งหลักการพื้นฐานเหล่านี้ทำให้เครื่องมือวัดที่ได้ในอดีตมีความแม่นยำและความถูกต้องเพียงชั่วคราวเท่านั้นปัญหาต่อไปคือการปรับเทียบ (Calibration) มีความยุ่งยากซับซ้อนมากจากหลักการพื้นฐานดังกล่าวนี้ ในปัจจุบันได้นำมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือวัดทันสมัยและมีมาตรฐานในการปรับเทียบอย่างถูกต้องอันมีราคาแพงตลอดจนมีความถูกต้องแม่นยำตามคุณภาพของเครื่องมือวัด

ในปัจจุบันนี้เครื่องมือวัดระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมกำลังมีบทบาทและมีความสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะเครื่องมือวัดนี้เป็นเครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วนการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ปริมาณหรือ แม้กระทั่งเครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วน ของกระบวนการผลิต แบบอัตโนมัติก็ตาม ทั้งนี้เครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วนการควบคุมคุณภาพหรือในส่วนกระบวนการผลิตนั้น เป็นส่วนที่ต้องการความแม่นยำและความถูกต้องสูงมากทำให้มีราคาสูงตามคุณภาพแต่เพื่อความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของไทยจึงได้มีการนำเข้าเครื่องมือวัดนี้จากต่างประเทศและในขณะเดียวกันบรรดานักศึกษาจากหลาย สถาบันไม่มีโอกาสที่จะ ศึกษาเครื่องมือวัดดังกล่าว เพราะสถานศึกษาไม่มีงบประมาณที่จะจัดมาให้แก่นักศึกษาหาความรู้จากเครื่องมือวัดดังกล่าวนี้

ด้วยจากสาเหตุและเหตุผลดังกล่าวนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีความคิดทำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีซึ่งเครื่องมือวัดดังกล่าวนี้ใช้ตัวคอนโทรลเลอร์เป็นตัวติดต่อกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลติดต่อกับ อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก และเป็นตัวควบคุมอุปกรณ์เพิ่มลดกระแสสำหรับฮีตเตอร์ซึ่งเป็นชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดี ที่ทำให้เข้าใจหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรม โดยมีความผิดพลาดในการวัดและควบคุมประมาณ  $\pm 0.5$  เปอร์เซ็นต์

## 1.2 ขีดความสามารถของโรงงาน

1. สามารถสร้างอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 150°C
2. สามารถสร้างอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบ อาร์ทีดี พีที 100 ว่าสามารถใช้งานได้เที่ยงตรง
3. สามารถสร้างอุณหภูมิเพื่อทำการสอบเทียบ อาร์ทีดี คอนเวอร์เตอร์ได้
4. เป็นแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ
5. เป็นชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดี ที่ควบคุมด้วยระบบ พีไอดี
6. เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับ อาร์ทีดี อยู่ที่  $\pm 0.5\%$

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ขีดความสามารถของโรงงาน และเนื้อหาในบทต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการกล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของปฏิญานิพนธ์ประกอบด้วย ส่วนย่อยๆ ดังนี้

- 1) อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ เช่น อาร์ทีดี โดยกล่าวถึง โครงสร้างหลักการทำงานของวงจรของอุปกรณ์เหล่านี้ หลักการของฮีตเตอร์ประเภทของฮีตเตอร์ตลอดจนการคำนวณวัตต์ของฮีตเตอร์
- 2) การวัดอุณหภูมิกล่าวถึง วัสดุประสงค์ของการวัด และชนิดการวัด และวิธีการวัดตลอดจนระบบการวัดโดยทั่วๆ ไป
- 3) ทฤษฎีการปรับเทียบในส่วนนี้กล่าวถึง ความหมายการปรับเทียบอุณหภูมิระยะเวลาการปรับเทียบอุณหภูมิการกำหนดระยะเวลาในการปรับเทียบอุณหภูมิตลอดจน ความสำคัญของการปรับเทียบ
- 4) ความถูกต้อง และความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิกล่าวถึง ความหมาย ความแม่นยำในการปรับเทียบและวิธีการหาค่าความแม่นยำ
- 5) ลักษณะสมบัติของ โพรเซสกล่าวถึง คุณสมบัติทั่วไปของโพรเซส และวิธีการปรับค่า พีไอดี
- 6) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 กล่าว ถึงคุณสมบัติทางเทคนิค ของ 89C51RD2 ตลอดจนโครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโรงงาน ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโรงงาน ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ประกอบด้วยการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขรวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรมทั้งหมดที่สร้างขึ้นเพื่อ

ประกอบการทำงานของโครงการ

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้งานชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

##### 2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมทั่วไป แล้วมักจะมีเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอเช่นถ้าแผ่นเหล็กเย็นจนเกินไปก็จะทำให้การปรับแต่งขึ้นรูปได้ยากดังนั้น จึงพอกกล่าวได้ว่า การตรวจวัดและการควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งที่ มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งของตัวแปรในกระบวนการทางอุตสาหกรรมความร้อนและอุณหภูมิ (Heat and Temperature) เรามักใช้คำทั้งสองนี้ ร่วมกันเสมอๆ จนอาจทำให้เข้าใจได้ ว่าสองคำนี้ มีความหมายเหมือนกัน ถึงแม้ความเป็นจริงมันจะ มีความสัมพันธ์ ที่เกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดก็ตามแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าเราจะใช้สองคำนี้ทดแทนกันได้

อุณหภูมิเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่ง ของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของอะตอมและโมเลกุลของวัตถุ แต่ ความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่ง ไม่ได้ เป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุนั้นๆ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดการสั่นไหวเคลื่อนที่ได้เร็วยิ่งขึ้น พลังงานจลน์ของมันก็จะมากขึ้นตามด้วยวัตถุนั้นก็จะร้อนขึ้น และมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยผลของความร้อนประการหนึ่งที่เราเห็นชัดเจนก็คือ เมื่อความร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่วัตถุใดๆก็ตามจะทำให้อุณหภูมิจึงสูงขึ้น

หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กัน คือ ฟาเรนไฮต์ ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Gabriel Fahrenheit มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่  $32^{\circ}\text{F}$  และจุดเดือดของน้ำอยู่ที่  $212^{\circ}\text{F}$

เซลเซียส ถูกคิดค้นโดย นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชื่อ Ander Celsius มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่  $0^{\circ}\text{C}$  และ มีจุดเดือดของน้ำอยู่ที่  $100^{\circ}\text{C}$  ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดอุณหภูมิแบบฟาเรนไฮต์และแบบเซลเซียสซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$T^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C} + 32) \quad (2.1)$$

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \quad (2.2)$$

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ถูกคิดค้นโดย นักฟิสิกส์ชาว สก็อตแลนด์ ชื่อ William Thomson Lord Kelvin โดยขนาดองศาศูนย์ที่ สมบูรณ์นั้นจะเป็น อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไป

ได้ ณ อุณหภูมินี้ทุกๆ โมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งหมด ศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ  $273.15^{\circ}\text{C}$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

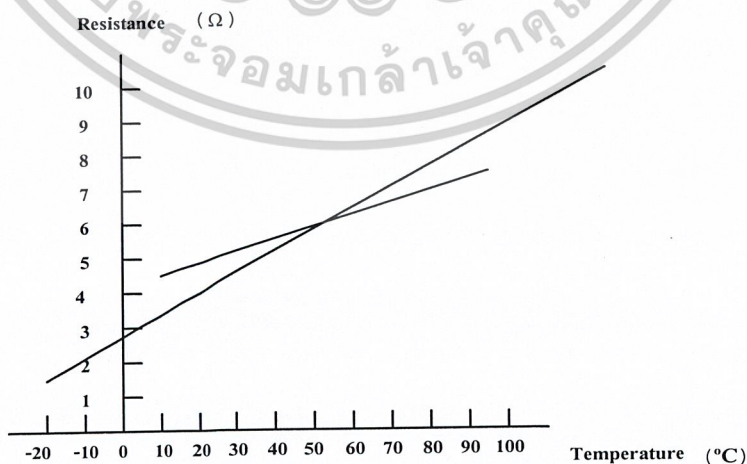
อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด อุณหภูมินั้นมีหลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร ก็จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่ วัดได้เมื่ออุณหภูมิที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปและการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่และแน่นอนและต้องพิสูจน์ได้ ซึ่งหลักการที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่
- 2) อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซหรือไอ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบความดัน
- 3) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี เทอร์มิสเตอร์
- 4) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงหรือการแผ่รังสี เช่น ไพโรมิเตอร์
- 5) อาศัยหลักการ โดยวิธีทางเคมี เช่น ใช้วิธีการเปลี่ยนสีของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากหลักการในการตรวจจับอุณหภูมิในหลายๆ วิธีดังกล่าวการตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าถูกนิยมนำมาใช้กันมากที่สุด เพราะสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปต่อรวม กับ วงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการแสดงผลในเชิงตัวเลขหรือควบคุมกระบวนการที่ต้องการ ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวเพียงกลุ่มของอุปกรณ์ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสำคัญ

### 2.1.2 อาร์ทีดี

อาร์ทีดี (RTD) เป็นคำที่ย่อมาจาก (Resistance Temperature Detector) หรือความหมายในภาษามีชื่อว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าโดยความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 2.1 หากเราต้องการหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ ก็สามารทำได้ โดยกำหนดจุดบนกราฟจากนั้นทำการลากเส้นจะได้ค่าความต้านทาน ณ จุดที่อุณหภูมินั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้วิธีการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องมาจากหาค่าการวัดอุณหภูมิมีช่วงกว้างมาก จะไม่มีกราฟที่ให้ความสัมพันธ์ดังกล่าว หรือถ้ามีก็จะขาดความละเอียด ดังนั้น สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานแสดงได้ดังนี้

$$R_T = R_{T_0}[1 + \alpha_0 \Delta T] \quad (2.3)$$

โดยที่

$R_T$  คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ

$R_{T_0}$  คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ  $T_0$  หรืออุณหภูมิอ้างอิง

$\Delta T$  คือ  $T - T_0$

$\alpha_0$  คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิ

ค่าของ  $\alpha_0$  = สามารถหาค่าได้จากค่าความต้านทานหรืออุณหภูมิ คือ

$$\alpha_0 = \frac{1}{R_{T_0}} \times (\text{slope ที่ } T_0) \quad (2.4)$$

$$\therefore \text{แทนค่า } \alpha_0 = \frac{1}{R_{T_0}} \times \left( \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1} \right)$$

เมื่อ  $R_1$  = ค่าความต้านทานที่  $T_1$

$R_2$  = ค่าความต้านทานที่  $T_2$

ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน( $\Omega$ ) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำ อาร์ที ดี เช่น พลาตินัม  $0.0039 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$  จากย่านวัดอุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$  ถึง  $100^\circ\text{C}$

นิกเกิล  $0.0067 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$

ทองแดง  $0.0038 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$

ในทางปฏิบัติค่าของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วง ซึ่งจะแปรผันไม่เป็นเส้นตรงใน ห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าที่แน่นอนสามารถใช้ได้โดยใช้สมการ 2.5

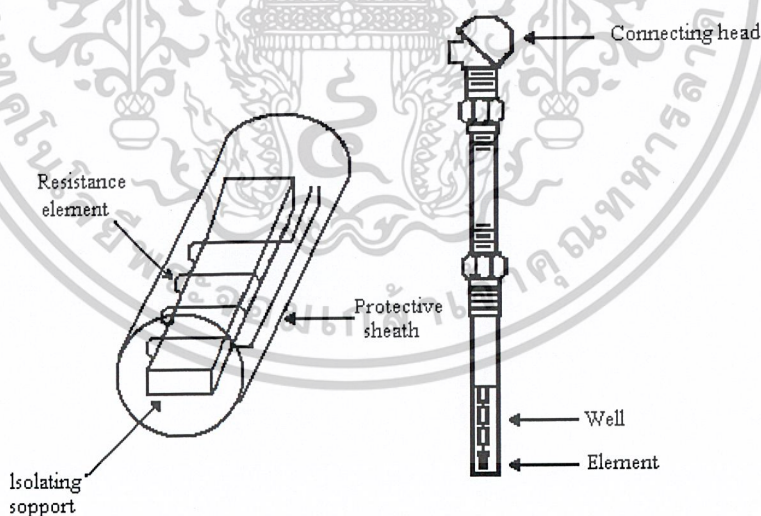
$$R_T = R_{T_0}[1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  เป็นค่าที่ได้จากการทดลองซึ่ง ในทางปฏิบัติในหลักการนำไปใช้งานเป็นค่าที่บริษัทผู้ผลิต อาร์ทีดี เป็นผู้กำหนดให้

### 2.1.3 โครงสร้างของอาร์ทีดี

อาร์ทีดีที่ทำด้วยโลหะที่มีค่าความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความต้านทาน ที่ต้องการที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$  ลวดโลหะดังกล่าวนี้พันอยู่รอบแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิกสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิตอาร์ทีดีก็คือขณะใช้งานขดลวด นี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดจนการสะท้อนทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อเย็นตัว จะหดตัวพร้อมกันนี้ แกนที่ใช้พันขดลวดต้อง มีค่าสัมประสิทธิ์ การ ขยายตัวที่มีความสัมพันธ์กับ การขยายตัวของขดลวดการพันขดลวดจะนิยมทำกันในขณะ ขดลวดร้อนจนถึงอ่อนตัวหลังจากนั้น จะต้องผ่านกระบวนการอบ ที่ความร้อนคล้ายความเครียด (Strin) ที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิต่ำอย่างน้อย  $500^\circ\text{C}$  เป็นเวลานานถึง 24 ชั่วโมงอาร์ทีดีที่ท้าวๆ ไปจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (Sheat) ฉนวนที่ใช้จะเป็นแมกนีเซียมออกไซด์หรืออลูมิเนียมออกไซด์ช่วงที่มีผลต่อการวัด โดยตรงจะอยู่บริเวณส่วนปลายอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน

อาร์ทีดี โดยทั่วไปแล้วทำมาจากโลหะที่มีค่าความต้านทานต่ำ เช่น พลาตินัมทองแดงนิเกิล สำหรับทั้งสแตนจะใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับที่ ต้องการย่านวัดสูงๆ แต่เนื่องจากมันเปราะและแตกหักง่ายจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ งาน ส่วนโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำ อาร์ทีดี และให้ผลตอบสนองที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงก็คือ พลาตินัมและได้แสดงคุณสมบัติของ อาร์ทีดี ที่ทำจากโลหะประเภทต่างๆ

ในการที่จะนำ อาร์ทีดี ไปใช้งานนั้นจำเป็นต้องต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มีกระแสจำนวนหนึ่งสร้างความร้อนขึ้นในตัว อาร์ทีดีจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำกัดค่ากระแสจำนวนนี้ไม่ให้มีค่าสูงเกินไปโดยปกติ อาร์ทีดี แบบพลาตินัมจะ เกิดค่าความผิดพลาดขึ้น  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ต่อค่ากระแสเพียง  $1\text{ mA}$  ในบรรยากาศปกติที่ไม่มีการถ่ายเท แต่ในภาวะการใช้งานที่จะต้องจุ่มลงในของเหลวค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะกระจายออกสู่ของเหลวทำให้ค่า ผิดพลาดนี้ต่ำลง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหลและความหนาแน่นของตัวกลาง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความร้อนนี้สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.6

$$\Delta_T = \frac{P}{P_0} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\Delta_T$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนในตัวอาร์ทีดี  
 $P$  คือ กำลังความร้อนในอาร์ทีดีจากวงจร  
 $P_0$  คือ กำลังความร้อนสูญเสียคงที่ของอาร์ทีดี

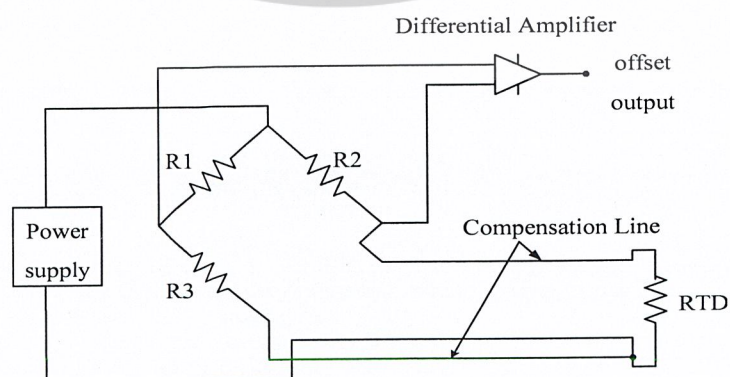
จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ค่ากำลังความร้อนสูญเสียคงที่ (Dissipation Constant) เป็นข้อมูลเฉพาะของ อาร์ทีดี แต่ละชนิดซึ่ง ตัวเลขนี้จะสัมพันธ์กับกำลังที่ทำให้อุณหภูมิของอาร์ทีดีเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  เช่น  $25\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$  หมายความว่ากำลังของความร้อนอันมาจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในอาร์ทีดีเท่ากับ  $25\text{ mW}$  โดยมีความร้อนเป็น  $1^{\circ}\text{C}$  ซึ่งค่ากำลังความร้อนคงที่นี้ได้มาจากการกำหนดให้อาร์ทีดีอยู่ภายใต้ 2 เงื่อนไข คืออยู่ในที่อากาศถ่ายเทสะดวกและอ่างน้ำมันที่มีการเคลื่อนที่ไหลอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลาอันเอง

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดีก็คือวงจรบริดจ์นั่นเองอาร์ทีดีจะติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการตรวจจับอุณหภูมิ ตัวต้านทานที่เหลืออีก 3 ตัวที่จะต้องใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเปลี่ยนต้องต่ำมากๆ และในการใช้งานอาร์ทีดีร่วมกับวงจรบริดจ์นี้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของอาร์ทีดีที่ทำมาจากโลหะประเภทต่างๆ

ชนิดของโลหะ	กระเปาะที่บรรจุ (case)	ย่านอุณหภูมิ (องศา)	ความต้านทาน $\Omega$	ค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณ $(\alpha) \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$
พลาสติก (ห้องทดลอง)	แก้ว	-190 ถึง 540	25 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0039
พลาสติกนัม (อุตสาหกรรม)	สแตนเลส	-200 ถึง 125	25 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0039
	เหล็ก	-18 ถึง 540	25 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0039
พลาสติกนัม (แบบแผ่นฟิล์ม)	เซรามิก	-50 ถึง 600	1000 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0039
	อลูมินาและแก้ว	-272 ถึง 200	26 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0037
โรเดียม - เหล็กทองแดง	ทองเหลือง	-75 ถึง 120	10 ที่ $0^\circ\text{C}$	0.0038
	ทองเหลือง	0 ถึง 120		

จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาที่สายต่อระหว่าง อาร์ทีดี กับวงจรบริดจ์มากเป็นพิเศษนั้นก็หมายความว่า หากสายที่ใช้ต่อเป็นสายที่ยาวจะทำให้มีผลต่อ อุณหภูมิ และค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นกับวงจรทำให้ผลของการวัดผิดพลาด ไปจึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อชดเชยค่าที่ผิดพลาด ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่การต่ออาร์ทีดี แบบ 3 สายเป็นแบบมาตรฐานที่ นิยมใช้กันมากที่สุดทั้งนี้สายตัวนำทั้ง 3 ต้องมีความยาว และขนาดเท่ากันรวมทั้งอยู่ในสภาพสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ เดียวกันตลอดซึ่งการต่ออาร์ทีดีแบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์นี้ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.4 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีตเตอร์ของทีไอซีเป็นลวด Khantal (นิกเกิล:โครเมียม / 80:20) จากประเทศสวีเดน ทนอุณหภูมิได้ 1250 องศาเซลเซียส เป็นลวดผลิตฮีตเตอร์ที่ดีที่สุดในโลก ส่วนประกอบอื่นๆ ในการผลิตฮีตเตอร์มีดังนี้

1) ฉนวนแม็กเนียมออกไซด์ (Mgo) จาก สหรัฐอเมริกามีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่ต้านความร้อนดีมากทำหน้าที่ กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะจุดสำคัญคือ ห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาด เพราะจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น หากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบ

2) ท่อสแตนเลส 304 และ 316 จากออสเตรเลีย เลือกที่มีความหนาเป็นพิเศษ ทำให้ทนอุณหภูมิได้สูงกว่าปกติ และไม่มีตะเข็บด้านนอกของผิวท่อจึง ไม่มีปัญหาการปริแตกตามแนวตะเข็บท่อฮีตเตอร์เมื่ออุณหภูมิสูง

3) เครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของฮีตเตอร์ (Insulation Tester) เพื่อให้แน่ใจว่าในการทำงานจริงจะไม่มีกระแสรั่วจาก ลวดฮีตเตอร์สู่ผิวโลหะซึ่ง อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้มาตรฐานทีไอซีได้กำหนดการทดลองแรงดันที่ 1500 VAC และค่าความเป็นฉนวนต้องมากกว่า 500 MΩ

## 2.1.5 ประเภทของฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะ ต่างๆ ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก

2) ฮีตเตอร์ครีบ หรือ (Finned Heater) และ ฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศเช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ

3) ฮีตเตอร์จุ่มหรือ (Immersion Heater) หรือ บางที่เรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานต้มน้ำ-ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

4) บอบบินฮีตเตอร์ (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม

5) ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุ โดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสงทำให้ไม่สามารถที่ดูดซับรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ที่ติดตั้งในเตาอบ หรือเหนือคอนเวเยอร์ได้

6) ฮีตเตอร์รัดท่อหรือ (Band Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ฮีตเตอร์แผ่น หรือ (Strip Heater) ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรง

### 2.1.6 ฮีตเตอร์แท่ง

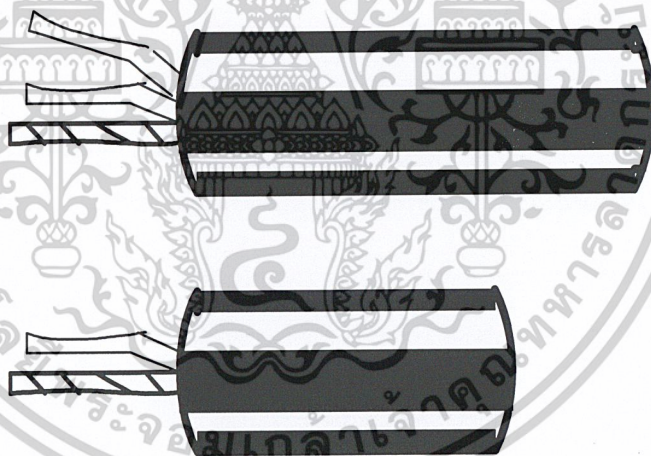
ลักษณะการใช้งานทั่วไปของฮีตเตอร์แท่ง คือ ใส่ไว้ในช่องบนวัตถุความร้อนจะถูกส่งผ่านจากฮีตเตอร์ ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน ตัวอย่างงาน เช่น ให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่อ ฮีตเตอร์แท่ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

#### 1) ชนิดความหนาแน่นสูง (High Density)

หลักการทำงานของ ฮีตเตอร์แท่ง ชนิดความหนาแน่นสูง มีขั้นตอนที่ต้องรีดท่อโลหะที่มีตัวนำ และฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ภายในลงทำให้ทนอุณหภูมิได้สูง และกำลังวัตต์ต่อพื้นที่ ( $\text{Watt/cm}^2$ ) สูงขึ้น

#### 2) ชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density)

หลักการทำงานของฮีตเตอร์แท่ง ชนิด ความหนาแน่นต่ำ คือ ร้อยลวดตัวนำในฉนวนเซรามิก แล้วใส่ไว้ในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างท่อโลหะกับลวดอัดด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์



รูปที่ 2.4 ฮีตเตอร์แท่ง

การกำหนดว่าตัวฮีตเตอร์แท่ง ได้เป็น ชนิดความหนาแน่นสูง หรือ ความหนาแน่นต่ำ จะพิจารณาจากค่า กำลังวัตต์ ( $\text{Watt Density}$ ) ซึ่งเป็นหน้าที่ของทางผู้ผลิตทาง ทีไอซี สามารถผลิต ฮีตเตอร์ให้ตามที่ต้องการได้ โดยผู้ใช้งานเพียงระบุค่า 4 ค่าเท่านั้น คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว แรงดัน กำลังวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.7 รหัสการสั่งทำ (TIC)

ตัวอย่าง	HC	H	12.7 x 80 / 220 - 250W
	(1)	(2)	(3) (4) (5)

(1) ฮีตเตอร์ชนิด Cartridge

H: High Density

L: Low Density

(2) เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ D (mm)

(3) ความยาว L (mm)

(4) แรงดัน (V)

(5) กำลังวัตต์ (W)

### 2.1.8 การคำนวณวัตต์ของฮีตเตอร์แท่ง

$$W = \frac{V \times D \times S \times (\Delta T - 30)}{t} \quad (2.7)$$

$W$  = วัตต์ของฮีตเตอร์ (g)

$D$  = Specific Weight ( $\text{g/cm}^3$ )

$S$  = ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific heat capacity)( $\text{watt/g}^\circ\text{C}$ )

$\Delta T$  = อุณหภูมิที่เราต้องการ

$t$  = เวลาที่เพิ่มลดอุณหภูมิ (วินาที)

$V$  = ปริมาตรของแท่งโลหะ (ลบ.ซม.)

ตัวอย่างวัสดุทำจากอลูมิเนียมมีความกว้าง 5 ซม. ยาว 15 ซม. สูง 5 ซม. จงคำนวณวัตต์ของฮีตเตอร์จากวัสดุดังกล่าว โดย  $\Delta T = 150$   $t = 300$  วินาที

วิธีทำ

$$= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$= 5 \times 15 \times 5$$

$$= 375$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.7) 
$$W = \frac{V \times D \times S \times (\Delta t - 30)}{t}$$

แทนค่า 
$$W = \frac{375 \times 2.7 \times 0.9 \times (150 - 30)}{300}$$

$$W = 360 \text{ w}$$

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของโลหะชนิดต่างๆ

Material	Specific Weight (kg)	Specific heat capacity (kg)
Aluminium	2.7	0.9
Lead	11.3	0.13
Copper	8.9	0.38

ตารางที่ 2.3 บอกลำผ่านศูนย์กลาง ความยาว แรงดัน กำลังวัตต์

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความยาว (mm)	แรงดัน (v)	กำลังวัตต์ (w)
6.5	35	24,110,220	50 - 130
	50		50 - 180
	65		50 - 200
	80		50 - 270
	95		50 - 320
	110		50 - 360
8	50	24,110,220	50 - 190
	80		50 - 250
	100		50 - 380
	130		65 - 500
	150		75 - 570
	180		90 - 690

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.9 ฮีตเตอร์ท่อกลม

โครงสร้างของ ฮีตเตอร์ท่อกลม คือ มีลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อนและท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐาน วัสดุที่ใช้ทำฮีตเตอร์ท่อกลม มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

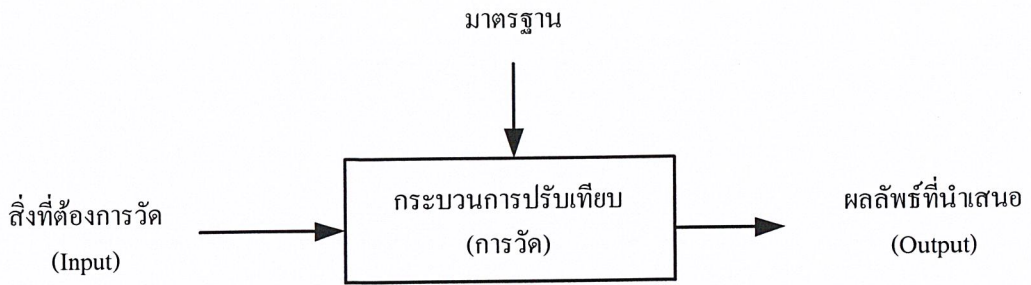
ตารางที่ 2.4 ลักษณะการใช้งานของโลหะชนิดต่างๆ

ชนิดของโลหะ	ลักษณะการใช้งาน
ทองแดง	น้ำสะอาด
สแตนเลส 304	อากาศที่มีการหมุนเวียน เตาอบ น้ำ น้ำมัน ของเหลว หรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5 – 9
สแตนเลส 316	อากาศที่มีการหมุนเวียน กรด สารละลายสารเคมี หรือของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อน
อินโคลอย 800	อากาศที่ไม่มีการหมุนเวียนเช่นในเตาอบ น้ำ น้ำมัน และของเหลวทั่วไป

## 2.2 การวัดอุณหภูมิ

เป็นพื้นฐาน สำหรับวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีทุกสาขาการวัดที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในความเป็นจริงแล้วได้มีการพัฒนารูปแบบและหลักการของการวัดขึ้นมาจากอดีตพร้อมๆ กับวิวัฒนาการของมนุษย์ที่มีการค้นพบหรือศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ เพื่อใช้ในการตัดแปลงหรือควบคุมธรรมชาติให้อื้ออำนวยต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์รวมถึงกระบวนการควบคุมการผลิตในงานอุตสาหกรรมสิ่งเหล่านี้ ไม่ว่าจะมองในแง่คุณภาพ หรือปริมาณหรือความสะอาดปลอดภัยจำเป็นที่จะต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดและที่ถูกต้องเป็นพื้นฐานไม่ว่ากระบวนการที่ได้กล่าวนั้นจะง่ายหรือสลับซับซ้อนเพียงใดก็ตามดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

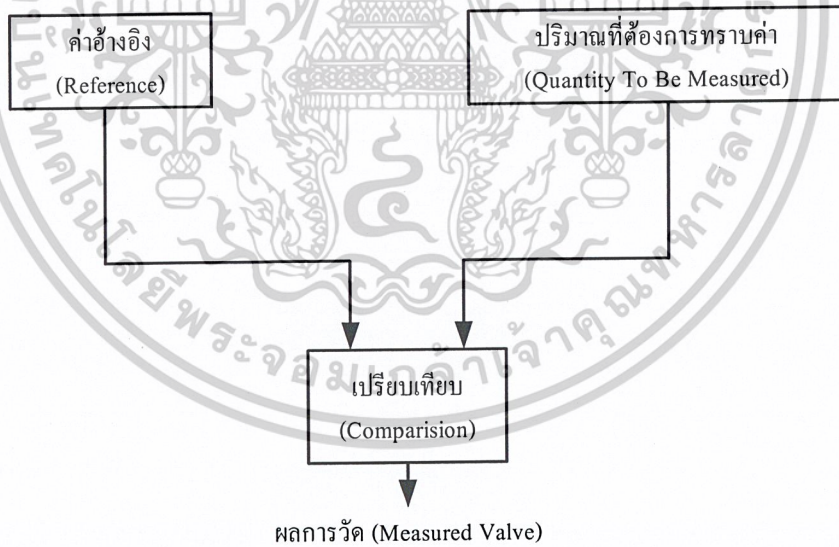


รูปที่ 2.5 หลักการวัด

### 2.2.1 องค์ประกอบการวัดเบื้องต้น

#### 1) ความหมายของการวัด

การวัด หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่ต้องการทราบค่ากับค่าอ้างอิงซึ่งได้แสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบการวัด

#### 2) ศัพท์เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม (Terminology)

2.1) เรนจ์ (Range) คือ ขีดจำกัดที่อุปกรณ์การวัดสามารถอ่านหรือบันทึกค่าได้ ซึ่งเรนจ์

แบ่งออกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลว์เวอร์เรนจ์แวลู (Lower range value) คือ ค่าต่ำสุดที่อุปกรณ์การวัดนั้นสามารถปรับลงมาอ่านได้หรือการบันทึกค่าได้

อัพเปอร์ เรนจ์ แวลู (Upper range value) คือ ค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดนั้นสามารถปรับขึ้นมาอ่านค่าได้

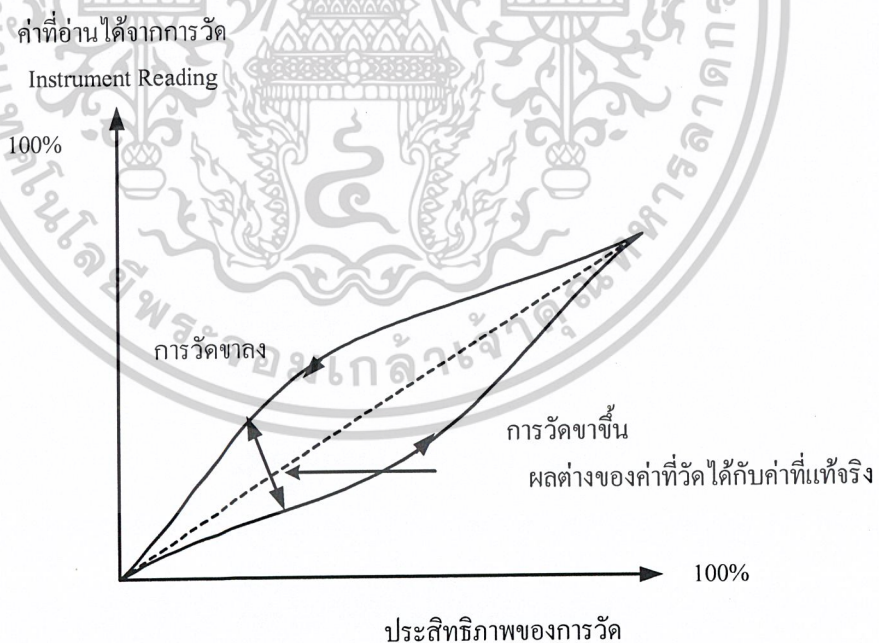
2.2) สเปน (Span) คือ ผลต่างของ อัพเปอร์เรนจ์แวลูกับ โลว์เวอร์เรนจ์แวลู

**ข้อสังเกต** ถ้า สเปน ของเครื่องมือวัดเปลี่ยนเรนจ์ ต้องเปลี่ยนด้วยแต่ถ้า เรนจ์เปลี่ยนสเปน อาจไม่เปลี่ยนก็ได้

2.3) แอควิวราซี (Accuracy) คือค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับหรือค่าแท้จริงโดยทั่วไป จะแสดงมาในรูปของความผิดพลาดในหน่วยของการวัดเป็นของของสเปน หรือ % ของ อัพเปอร์ เรนจ์

2.4) รีพีทอะบิลิตี (Repeatability) คือ ค่าความใกล้เคียงของค่าที่อ่าน ได้จากอุปกรณ์การวัดที่วัดติดๆ กันจำนวนหลายๆ ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดียวกัน

2.5) ฮีสเทอริซิส (Hysteresis) คือ ผลต่างสูงสุดของค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดจากค่าที่แท้จริงระหว่างการอ่านขาขึ้นกับการอ่านขาลงที่จุดๆ เดียวกัน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวัดกับค่าที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีสเตอร์รีซิส เกิดขึ้นเนื่องจากการได้รับพลังงานของชิ้นส่วนของอุปกรณ์การวัดจำนวนหนึ่งก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเคลื่อนไหว

### 2.2.2 ชนิดและวิธีการวัดอุณหภูมิ

แม้ในการวัดทุกชนิดที่สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าที่ต้องการวัดกับ มาตรฐานที่ได้ มีการนิยามไว้แต่ก็มีหลายวิธีของการกระทำการเปรียบเทียบดังกล่าวเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่ต้องการจากการวัดนอกจากนั้นแล้วการที่เรานิยามค่าที่เกี่ยวกับวิธีทำการวัดจะช่วยให้เราสามารถสื่อสารแนวคิดโดยใช้คำที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งการวัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

#### 1) การวัดโดยตรง (Direct Comparison)

เป็นวิธีการที่เราได้ค่าการวัดโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณเพิ่มเติมเพียงแต่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ต้องการวัดกับปริมาณอื่นที่เราต้องการวัดจริง ค่าที่ต้องการก็จะได้ทันทีในรูปของข้อมูลเดิม

#### 2) การวัดโดยทางอ้อม (Indirect Comparison)

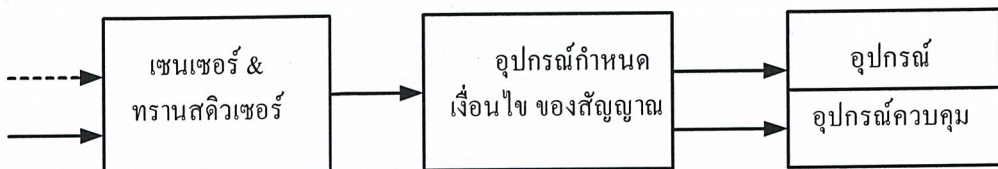
เป็นการวัดที่เราจะได้ค่าโดยผ่านตัวกลางที่มีหน่วยแตกต่างกันออกไปซึ่ง เชื่อมต่อกันในบางลักษณะเช่น วิธีการวัดระยะ โดยใช้การเคลื่อนที่ของพัลส์เป็นวิธีทางอ้อม เนื่องจากต้องมีการคำนวณหาระยะทางจากความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนพัลส์กับการเคลื่อนที่ ซึ่งมีข้อสังเกตอยู่เกี่ยวกับการวัดทางอ้อมก็คือ ผลลัพธ์สุดท้ายนั้นจะได้มาจากผลของการวัดโดยตรงหลายๆ ปริมาณ

### 2.2.3 ระบบการวัดโดยทั่วไป

ในงานอุตสาหกรรมจะใช้วิธีการวัดทางอ้อมเป็นส่วนใหญ่ และมักจะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

- 1) ส่วนที่ใช้ในการตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน
- 2) ส่วนที่ใช้กำหนดเงื่อนไขของสัญญาณ
- 3) ส่วนที่ใช้ในการนำเสนอ

ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบการวัด โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) ภาคอุปกรณ์ตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงาน

ส่วนนี้เป็นส่วนแรกของระบบการวัดโดยทั่วไป ซึ่งมีหน้าที่วัดคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของสิ่งที่ต้องการตรวจวัดจากนั้น จึงเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของพลังงานหรือสัญญาณที่ส่วนอื่นต่อไปซึ่งในที่นี้ก็คือ ส่วนที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณสามารถตอบสนองได้ด้วยตัวอย่าง เช่น เทอร์โมคัปเปิลถือว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้อยู่ในรูปพลังงานทางไฟฟ้า เป็นต้น

### 2) ภาคอุปกรณ์กำหนดเงื่อนไขสัญญาณ

ข้อมูลหรือสัญญาณจากส่วนแรกจะถูกส่งมาที่ส่วนนี้ เพื่อทำการปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณก่อนส่งไปให้ภาคต่อไป การปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณเป็นอย่างไร เช่น หากสัญญาณที่มาจากส่วนแรกมีสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณมีระดับต่ำเกินไป ก็จะทำหน้าที่ของส่วนนี้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนหรือทำการขยายสัญญาณให้ มีระดับสูงขึ้นหากสัญญาณที่ระดับต่ำเกินไป

### 3) ภาคเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เป็นภาคที่มีความสำคัญ และเป็นส่วนแรกของระบบการวัดเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับหรือวัดค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น ความร้อน แสง เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น จากนั้นจึงเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ ข้อมูลที่สอดคล้อง และเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณเซนเซอร์ จะใช้กับอุปกรณ์ที่สามารถสร้างสัญญาณที่มีความสัมพันธ์ กับ ค่าหรือปริมาณสิ่งที่ต้องการตรวจวัดอาจเป็นสัญญาณชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ส่วนทรานสดิวเซอร์ก็คือเซนเซอร์นั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตาม ในระบบการวัดอาจใช้ ทรานสมิตเตอร์เพิ่มเข้าไปในเซนเซอร์เพื่อ ทำการที่จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานให้ บรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการเพราะ ฉะนั้น เซนเซอร์ก็คือ ทรานสมิตเตอร์ถือว่าไม่ผิดแต่ประการใด

## 2.3 การเปรียบเทียบ

### 2.3.1 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เป็นกระบวนการซึ่งนำค่าที่ถูกวัดได้โดยเครื่องมือวัดไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงกว่าเพื่อ ตรวจสอบและกำจัดค่าผิดพลาดด้วยการปรับแต่งรวมถึงการรายงานค่าความแม่นยำของเครื่องวัดนั้นๆเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ผู้ที่ซึ่งถูกฝึกมาอย่างชำนาญเครื่องมือที่ใช้อ้างอิงต้องมีความถูกต้องสูง โดยจะกระทำภายใต้ขั้นตอนและเงื่อนไขที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ช่วงระยะเวลาการปรับเทียบอุณหภูมิ

24 ชม. : ระยะเวลาสั้น (Short Time)

30 วัน : เครื่องมือบางชนิด

90 วัน : เป็นที่นิยมที่สุดสำหรับมาตรฐาน เช่น 2558 2506A

1 ปี : ความถูกต้องต่ำที่สุด (Lower Accuracy) เช่น แอนะลอกมิเตอร์

### 2.3.3 กรณีต้องการกำหนดระยะเวลาการปรับเทียบเอง

ถ้าต้องการกำหนดระยะเวลาการปรับเทียบเองสามารถใช้ข้อเสนอ 2 ข้อ ต่อไปนี้ประกอบ เพื่อความเหมาะสม ประหยัดและมีประสิทธิภาพ ดังนี้

#### 1) กำหนดตามประสบการณ์

กำหนดระยะเวลาการปรับเทียบตามความสำคัญของเครื่องวัด แต่ ละชนิดจาก ประสบการณ์ หากเป็นเครื่องวัดที่ไม่เคยมีประสบการณ์ให้ กำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด ของ เครื่องวัดอื่นๆทั่วไปหรืออาจกำหนดตาม โรงงานอื่น โดยให้สั้นกว่าข้อมูลที่ได้มาเล็กน้อย

#### 2) กำหนดตามข้อมูลต่างๆ

- 2.1) ค่าความแม่นยำที่ต้องการ (ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ มาก กลาง น้อย)
- 2.2) ขบวนการผลิต (ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ มาก กลาง น้อย)
- 2.3) จำนวนครั้งต่อระยะเวลา (ทุกๆ เดือน เดือนละหลายๆ ครั้งหรือนานๆ ครั้ง)
- 2.4) สภาพ (เก่า กลาง ใหม่)
- 2.5) ความแข็งแรง (น้อย มาก ปกติ)
- 2.6) การบำรุงรักษา (ยาก ปกติ ง่าย)

สำหรับเครื่องมือวัดที่ได้รับการปรับเทียบแล้ว ควรจะมีป้ายบอกที่จะทำการปรับเทียบใน ครั้งต่อไปติดไว้ที่ตำแหน่งที่เห็นได้ง่ายและป้ายที่ใช้ควรแยกสี โดยแยกออกจากชนิด ของเครื่อง เดือนที่ทำการปรับเทียบ สถานที่ที่ทำการปรับเทียบก็จะทำให้ใช้งานสะดวกมากขึ้น

### 2.3.4 ความสำคัญของการปรับเทียบ

การปรับเทียบ (Calibration) ถือได้ว่าเป็นอีกชนิดหนึ่งของการสอบเทียบ ดังนั้น กระบวนการการผลิตใดๆ ที่เราต้องการความแน่นอนในการใช้งาน มันจะขึ้นอยู่กับค่าความแม่นยำ และค่าความถูกต้องในการวัดของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมแต่ละตัวตลอดจนในระบบควบคุมใน แต่ละชุด การปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมจะช่วยให้ เกิดความมั่นใจในการทำงานของ ขบวนการผลิต ที่ทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานเพื่อผลผลิต จะได้มีมาตรฐานทางคุณภาพที่ กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการปรับเทียบคือ การทำให้ค่าที่วัดถูกต้องและแม่นยำตลอดจนการปรับเทียบค่าของอินพุต และค่าเอาต์พุตของค่ามาตรฐานหลังจากการที่ได้พิจารณาผลของการเปรียบเทียบถ้าหากว่าเครื่องมือวัดเกิดการผิดพลาดก็จะสามารถทำให้เหมือนเดิมและถูกต้องได้โดยการปรับเทียบอันที่จะต้องสร้างตัวแปรของขบวนการที่จะทำการวัดขึ้นซึ่งวิธีนี้จะเป็นขั้นตอนการปรับเครื่องมือวัดเพื่อให้เกิดความถูกต้องแต่ส่วนใหญ่จะทำมาจากโรงงานผู้ผลิตตามคุณลักษณะที่ กำหนดไว้การปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมอาจเปลี่ยนแปลงไปตาม ค่าของพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือตัวของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ซึ่งตามปกติจะต้องมีตารางการปรับเทียบเป็นประจำทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมา

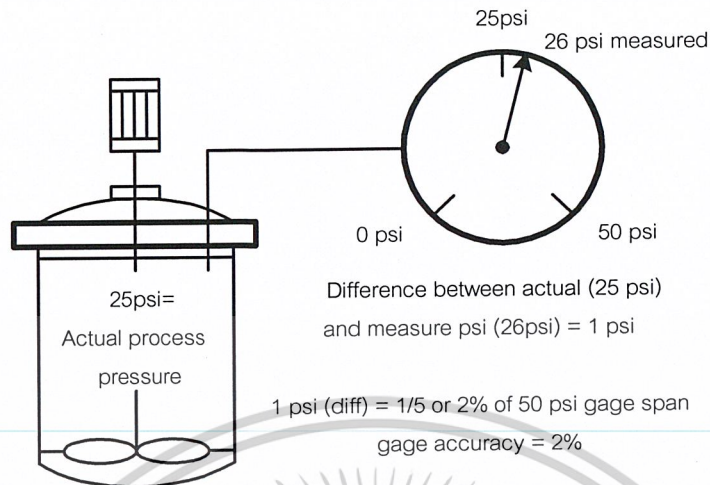
เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และ ใช้ในระบบควบคุม ถ้าหากว่ามีอุปกรณ์เครื่องมือวัดตัวใดตัวหนึ่งที่มีคุณลักษณะที่กำหนดไว้อย่างถูกต้องก็จะสามารถจะทำให้ระบบทั้งหมดในขบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นตาม ไปด้วย

เครื่องมือวัดอาจจะต้องมีการปรับเทียบเป็นประจำตามที่กำหนด เพราะเวลาในการใช้งานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขบวนการผลิตวัสดุที่นำมาใช้ตลอดจนสภาพแวดล้อม เป็นเหตุที่จะต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำอย่างไรก็ดีโดยทั่วไป การปรับเทียบจะต้องทำภายหลังจากการที่ปิดเครื่องแล้วใน กรณีนี้ถึงแม้ว่าเครื่องมือวัดจะถูกปรับเทียบมาจากโรงงานแล้วก็ตามแต่ระหว่างการขนส่งอาจจะทำให้เครื่องมือวัดมีค่าผิดพลาดไปได้ใน กรณีที่ต้องการเปลี่ยนเครื่องมือวัดใหม่จะต้องทำการปรับเทียบก่อนทุกครั้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ สามารถเกิดเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากว่าตำแหน่งของการติดตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไป เครื่องมือวัดควรทำการปรับเทียบ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเพื่อความถูกต้องในการทำงานของระบบควบคุม

## 2.4 ความแม่นยำและความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดต่างๆ จะถูกปรับเทียบมาเรียบร้อยแล้ว และ ทำให้มีค่าความแม่นยำเกิดขึ้นตามความต้องการคุณสมบัติของเครื่องวัดที่มาจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งค่าความแม่นยำจะบอกได้ถึงค่าที่วัดได้นั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไหน

ผู้เขียน ขออ้างอิงจากค่าย่านการวัดของ ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) ว่ามีค่าเท่ากับ 50 Psi แต่ในขณะที่นั้นทรานสมิตเตอร์วัดค่าความดันในแทงค์ได้ 26 Psi แต่ในความ เป็นจริงค่าความดันในแทงค์มีค่าเท่ากับ 25 Psi ซึ่งทำให้เกิดผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงเป็น จำนวน 1 Psi ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การนำทรานสมิตเตอร์วัดความดันในแท่งค้

จากรูปที่ 2.9 สามารถพูดได้ว่าทรานสมิตเตอร์ตัวนี้วัดค่าได้ถูกต้องไม่เกิน 1 Psi แต่อย่างไรก็ตามกรณีนี้เราถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของการวัดที่ผิดพลาดไม่ได้ ดังนั้นส่วนมากค่าความแม่นยำเราจะคิดอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของย่านการวัดจากค่าความแตกต่าง 1 Psi นี้ จากความดันจริง 25 Psi นั้นทำให้เราทราบว่าค่าความแม่นยำเท่ากับ 2 Psi (เพราะว่า 1 Psi คือ 2 % ของ 50 Psi จากค่าความแม่นยำ 2 % ของเกจแสดงว่าค่าที่วัดได้จะไม่มากไปกว่า 2 Psi ในการวัดที่ 100 Psi จากตัวอย่างนี้ถ้าเครื่องมือวัดที่มาจากบริษัทผู้ผลิตกำหนดคุณลักษณะไว้ว่ามีค่าความแม่นยำ 1% แต่จากการนำมาใช้งานแล้วค่าความแม่นยำมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากบริษัทกำหนดมา เราจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบหรืออาจต้องซ่อมแซมหรือเปลี่ยนเครื่องมือวัดตัวใหม่

#### 2.4.1 วิธีการคำนวณค่าความแม่นยำ

ในการคำนวณค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดต่างๆเราสามารถคำนวณย่านการวัดให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของย่านการวัดได้ คือ

$$\text{ย่านการวัด} = \frac{\text{ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัดได้} \times 100}{\text{ค่า Span}} \quad (2.8)$$

เช่น เกจความดันมีย่านการวัดที่ 200 Psi นำไปใช้วัดค่าความดันในแท่งค้ที่มีความดัน 100 Psi แต่อ่านค่าจากเกจวัดความดันได้ 105 Psi ให้คำนวณหาค่า ความแม่นยำของความดันเกจค่าความแตกต่าง (5 psi) ระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัดได้ (100 Psi และ 105 Psi) จะถูกหารด้วยย่านการวัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(200Psi) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ 0.025 จากนั้นนำไปคูณกับ 100 เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ให้รูปของเปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นค่าความแม่นยำความดันเกจจึงเท่ากับ 2.5 % จากความดันของทรานสมิตเตอร์ที่ผู้เขียน ได้กล่าวมาแล้ว ได้แสดงถึงสถานะความดันแตกต่างเพียงเล็กน้อยแต่ สำหรับความดันที่แตกต่างของทรานสมิตเตอร์เราสามารถคำนวณหาค่าความแม่นยำได้จากการเปรียบเทียบค่าแตกต่างของสัญญาณทางอินพุตกับสัญญาณทางเอาต์พุต

ค่าความแตกต่างนี้เราเรียกว่าค่าความหันทะ (Deviation) สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความแม่นยำของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) มีดังนี้

$$Accuracy = \frac{Deviation \times 100}{Span} \quad (2.9)$$

เมื่อ Accuracy คือ ค่าความแม่นยำ  
Deviation คือ ค่าความหันทะ  
Span คือ ผลต่างของค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดอ่าน ได้กับค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดอ่านได้

ตัวอย่าง เช่น ถ้าความดันอินพุต 25 Psi ป้อนเข้าทรานสมิตเตอร์วัดความดัน และถ้าย่านการวัดของความดันเกจเท่ากับ 50 Psi ต้องการให้ค่าทางเอาต์พุต 50 % ของสัญญาณทางย่านการวัดอินพุตถ้าทรานสมิตเตอร์วัดความดันตัวนี้ผลิตสัญญาณทางเอาต์พุต 4–20 mA (ย่านการวัด = 16 mA) ก็ควรที่จะอ่านค่าจากมิลลิแอมป์มิเตอร์ได้ 12 mA แต่ในความเป็นจริงอ่านค่าจากมิลลิแอมป์มิเตอร์ได้เป็น 13.6 mA ซึ่งทำให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณทางอินพุตกับสัญญาณทางเอาต์พุตเท่ากับ 1.6 mA

ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่าความแม่นยำของทรานสมิตเตอร์วัดความดันจากสูตรที่ 2.8 ดังนี้ นำผลที่ได้นั้นมาคูณกับ 100 เพื่อทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งผลสุดท้ายค่าความแม่นยำจะเท่ากับ 10 % ดังนั้นทรานสมิตเตอร์วัดความดันนี้สามารถทำงานอยู่ภายใต้ค่าของความแม่นยำ 10 % ได้แต่หากค่าเกินกว่านี้ ก็ต้องทำการปรับเทียบใหม่หรือทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่

## 2.5 ลักษณะสมบัติของโปรเซส

โปรเซส (Process) คือ กระบวนการหรืออุปกรณ์ที่ใช้แปลงสภาพวัตถุดิบทางฟิสิกส์หรือเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.5 ลักษณะสมบัติของโปรเซส

ตัวอย่างของโปรเซส	ตัวอย่างอุปกรณ์
การทำวัตุร้อนหรือเย็น	ตัวแปลงความร้อน (Heat exchanger)
การทำให้ของเหลวหรือผงเคลื่อนที่	ท่อ สายพาน ปัม
การเพิ่มหรือลดแรงดัน	ถังแรงดัน
การทำปฏิกิริยาของสารเคมี	ถังทำปฏิกิริยา
การอบให้แห้งหรือทำให้ชื้น	เครื่องอบ เครื่องทำให้ชื้น
การผสมหรือการแยกสารเคมี	Mixer , Seperator

Continuous process คือ โปรเซสที่ดำเนินต่อเนื่องกันตลอดเวลา

Batch process คือ โปรเซสที่เข้าออกไม่ต่อเนื่องกัน

Plant คือ โปรเซสหลายโปรเซสที่สัมพันธ์กัน

#### 2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของโปรเซส

##### 1) เดดไทม์ (Dead Time)

เมื่อเราเข้าของโปรเซสเปลี่ยนแปลงไปขาออกจะไม่เปลี่ยนแปลงตามไปทันที แต่จะมีเวลาสูญเปล่าช่วงหนึ่งก่อนที่ขาออกจะเริ่มเปลี่ยนแปลงเวลาสูญเปล่านี้นี้เรียกว่าเดดไทม์โปรเซสต่างๆไปจะมีเดดไทม์สั้นหรือยาวตามชนิดของโปรเซส โปรเซสที่มีเดดไทม์ยาวจะควบคุมได้ยากกว่าโปรเซสที่เดดไทม์มีสั้น

##### 2) ไทม์แล็ก (Time lag)

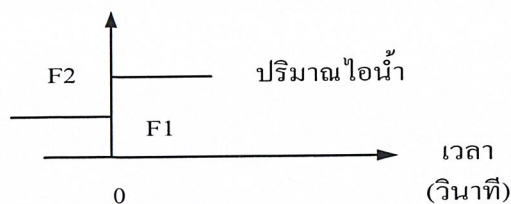
ในขณะที่โปรเซสอยู่ที่จุดสมดุลย์ถ้าลองเปลี่ยนค่าอินพุตของโปรเซสไปเอาต์พุตของโปรเซสจะเปลี่ยนตามไปด้วยจนกว่าจะถึง จุดสมดุลย์จุดใหม่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ เอาต์พุตไม่เปลี่ยนทันทีแต่จะค่อยๆเปลี่ยน ทั้งนี้เพราะมีไทม์แล็กในโปรเซสค่าคงตัวของเวลา (Time Constant)

ค่าคงตัวของเวลา คือ ค่าคงที่ซึ่งใช้เป็นดัชนีแสดงความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ มีหน่วยเป็น เวลา โปรเซสที่เป็น 1<sup>st</sup> order lag นั้น เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับค่าคงตัวของเวลานับจากอินพุตเริ่มเปลี่ยนแปลงผลตอบจะมีค่าเป็น 63.2 % ของค่าสุดท้ายของผลตอบ

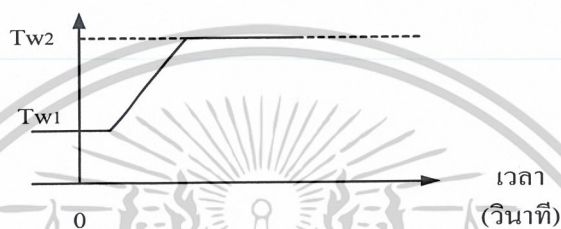
##### 3) อัตราขยายของกระบวนการ (Process gain)

หมายถึง อัตราขยายของโปรเซส มีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงที่ เอาต์พุต ต่อการเปลี่ยนแปลงที่ อินพุต

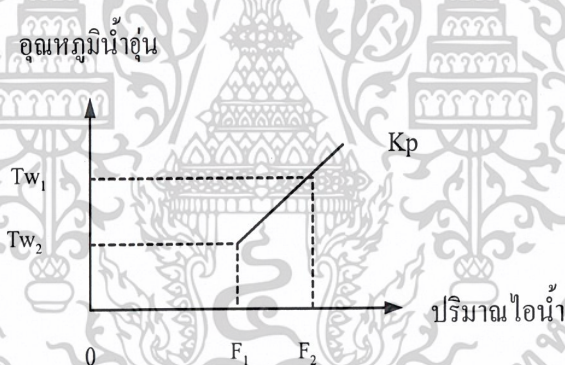
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) อินพุตของ Heat exchanger



(ข) เอาต์พุตของ Heat exchanger



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอน้ำ กับ ปริมาณไอน้ำ

รูปที่ 2.10 อัตราขยายของกระบวนการ

$$\text{Process Gain : } K_p = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{F_2 - F_1} \quad (2.10)$$

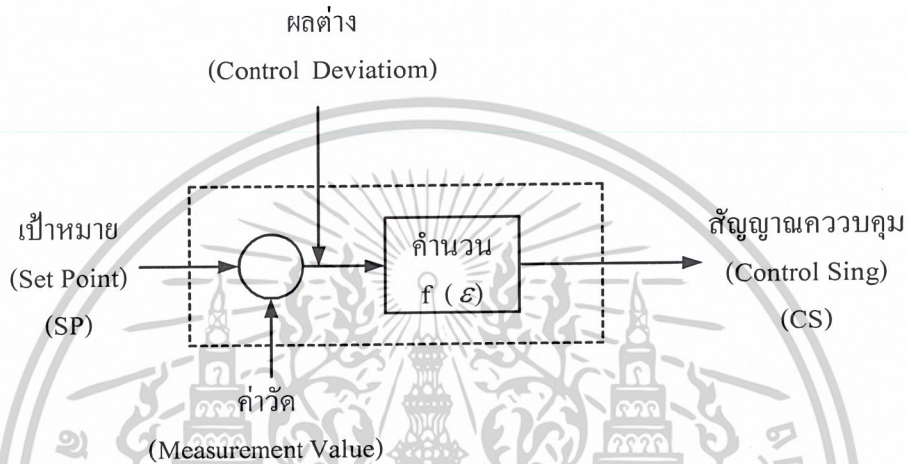
### 5) การรบกวน (Disturbance)

การรบกวน คือ สาเหตุภายนอกที่รบกวน โพรเซสให้เปลี่ยนจุดสมดุลย์ นี้ การรบกวน จะมีผลทำให้ เอาต์พุต ของโพรเซสเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม

ตัวควบคุมจะรับสัญญาณเข้าจาก การวัดเพื่อ ทำการเปรียบเทียบกับ ค่าเป้าหมาย (Setpoint) ผลต่างของภาคทั้งสองจะถูกส่งให้ภาคคำนวณ เพื่อผลิตสัญญาณควบคุมขาออก ซึ่งจะส่งออกไปให้ ส่วนขับเคลื่อนอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.11 ตัวควบคุม

ความสัมพันธ์ของผลต่าง กับสัญญาณควบคุมขาออกกำหนดโดยภาคคำนวณ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า ควบคุมการกระทำ (Control action) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

### 1) ควบคุมแบบ เปิด - ปิด (ON-OFF Control)

ควบคุมแบบเปิด ปิด คือการกระทำที่จะทำให้ความสัมพันธ์ของผลต่าง (TM) กับสัญญาณควบคุม (CS) ดังนี้

$$\text{เมื่อ } TM \geq 0, CS = A$$

$$\text{เมื่อ } TM \leq 0, CS = B$$

โดยที่ A และ B คือค่าใด 2 ค่าของ CS หรือสัญญาณควบคุม ดังนั้นการควบคุมแบบนี้ CS จะมีค่าเพียง 2 ค่าเท่านั้น บางครั้งจึงเรียกว่า 2-โปรเซสชันแอสซัน เช่น ให้อุณหภูมิห้องเปิดเต็มที่หรือปิดเต็มที่ เป็นต้น จากความสัมพันธ์จะเห็นว่าค่าวัด (MV) มีขนาดน้อยกว่าค่าเป้าหมาย (SP) ผลต่าง (TM) จะเป็นบวก สัญญาณควบคุมจะมีค่าใดค่าหนึ่ง (A หรือ B) ซึ่งจะทำให้โปรเซสเปลี่ยนไปในทางที่ค่าวัดจะสูงขึ้นยกตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงเกินกว่าเป้าหมายแล้วจะถูกทำให้ปิดเมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนลดลง แต่ถ้าลดลงกว่าเป้าหมายอีกก็ให้เปิดแล้วเป้าหมาย วาดแต่ถ้าลดลงกว่าเป้าหมายอีกก็ให้เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น

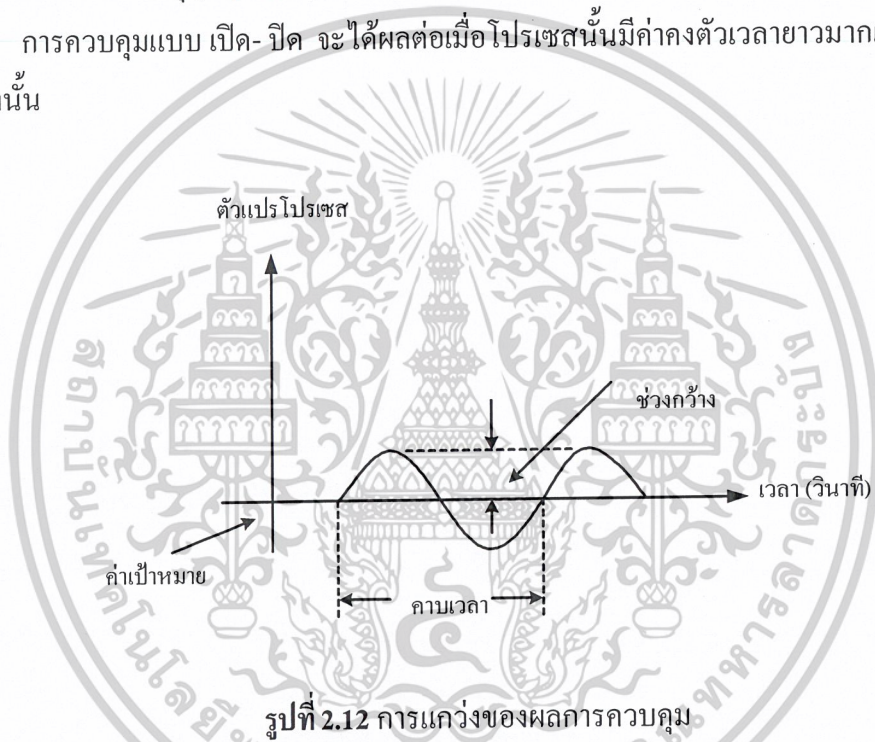
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติการควบคุมแบบ เปิด-ปิดจะมีเดดแบนด์ (Dead band) ซึ่งเป็นอาณาเขตของ เป้าหมายซึ่งจะยอมให้ค่าวัดผิดพลาดไปจากค่าเป้าหมายได้บ้างก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง สัญญาณควบคุม

การควบคุมแบบ เปิด-ปิด เป็นการเปิดปิดพลังงานที่เข้าโปรเซสเป็นไซเคิล(Cycle) ดังนั้น ผลของการควบคุมอาจทำให้โปรเซสเกิดการแกว่ง (cycling) ขึ้นได้ช่วงกว้าง (Amplitude) และ คาบเวลา (period) ในการแกว่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของ โปรเซสเอง เช่น เดดไทม์, ค่า ความต้านทานหรือ ค่าความจุ (Capaitanc)

การควบคุมแบบ เปิด-ปิด จะได้ผลต่อเมื่อโปรเซสนั้นมีค่าคงตัวเวลายาวมากแต่มี เดดไทม์ สั้นเท่านั้น



รูปที่ 2.12 การแกว่งของผลการควบคุม

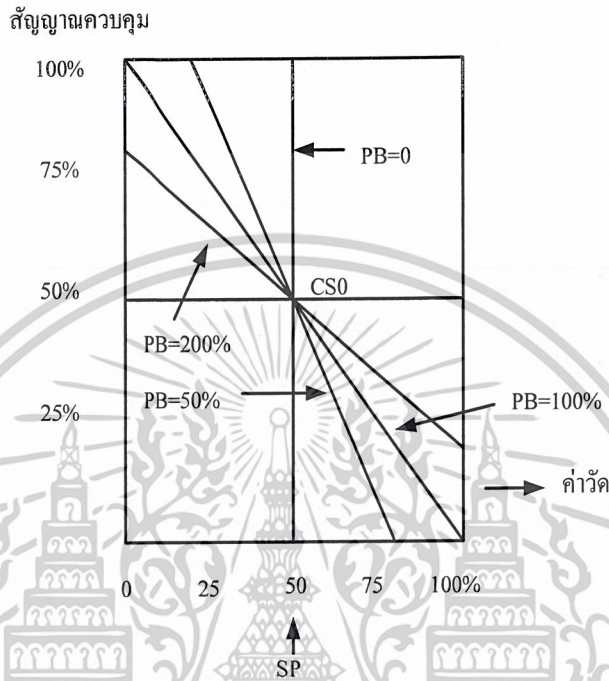
## 2) พร้อพอร์ชันนอลแอคชั่น (Proportional action)

คือการกระทำที่ทำให้สัญญาณควบคุมแปรผัน โดยตรงกับผลต่าง เค คือพร้อพอร์ชันนอล เกน (Proportional gain) สัญญาณควบคุมก็คือ การขยายผลต่างด้วยอัตราขยาย เค นั่นเอง ตามปกติ ในระบบควบคุมมักจะไม่นิยมใช้ เค แต่จะใช้ พร้อพอร์ชันนอล แบนด์ (Proportional Band (PB))

$$PB = \frac{1}{k} \times 100\% \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีบี มีความหมายคือ ผลต่าง (TM) จะต้องเปลี่ยนไป พีบี% จึงจะพอดีทำให้สัญญาณควบคุม เปลี่ยนจาก 0 ถึง 100 %



รูปที่ 2.13 ความหมายของพรีอพออร์ชันนอล แบนด์

จะเห็นได้ว่า เมื่อ พีบี มีค่าเล็กลง อัตราขยายจะสูงขึ้น และเมื่อ พีบี = 0% อัตราขยายเป็นอนันต์ การทำงานของพรีอพออร์ชันนอลแอกชั่น จะกลายเป็น เปิด-ปิด

#### 2.1) คุณสมบัติของ พรีอพออร์ชันนอลแอกชั่น

1) เมื่อลด พีบี ลงไปทำให้เกิดอัตราขยายสูงขึ้น การควบคุม จะตอบสนองไว (sensitive) ขึ้นทำให้โปรเซสเกิดการแกว่ง ขึ้นได้

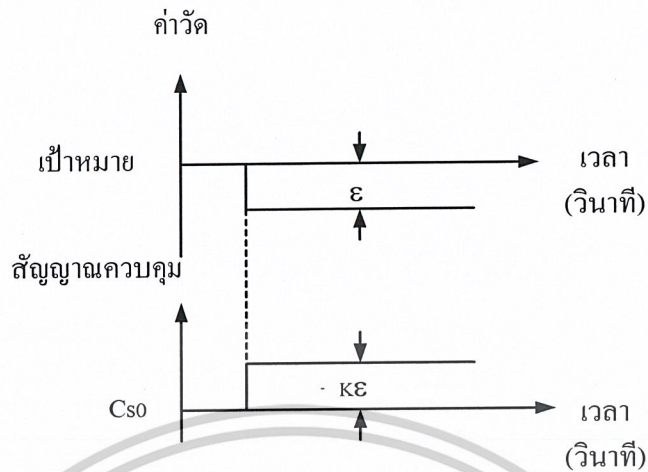
2) เมื่อเพิ่มค่า พีบี ขึ้น อัตราขยายลดลง จะทำให้ค่าวัดกับค่าเป้าหมายแตกต่างกันมากขึ้น เราเรียกว่าเกิด ออฟเซต

3) เมื่อโพลดของโปรเซส สภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป ซึ่งเราเรียกว่ามี การรบกวน ก็จะทำให้เกิดออฟเซต ได้ง่าย

#### 2.2) ออฟเซต (Offset)

ออฟเซตเป็นชื่อใช้เรียกปรากฏการณ์ที่ตัวแปร โปรเซสหรือค่ามีค่าไม่เท่ากับค่าเป้าหมายทำให้การควบคุมไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ผลตอบของพรีอพอร์ชันนอลแอกชั่น

ในระบบการควบคุมแบบป้อนกลับนี้เมื่อผิวเฟินออฟเซตไม่น่าที่จะเกิดขึ้นได้เพราะว่าตัวแปรโปรเซสจะถูกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายตลอดเวลาอย่างไรก็ตามออฟเซตมักจะเกิดในระบบการควบคุมที่ใช้พรีอพอร์ชันนอลคอนโทรลที่มีค่าพีบีใหญ่ และขณะเกิดมีการรบกวนในโปรเซสซึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงของโหลดสภาพแวดล้อม เป็นต้น

วิธีการแก้ค่า ออฟเซต

- 1) ให้ลด พีบี ให้เล็กลง
- 2) เปลี่ยนไบแอสของการควบคุมด้วยมือ
- 3) เปลี่ยนค่าเป้าหมายใหม่
- 4) ใช้การควบคุมที่มี รีเซ็ตแอกชั่น

### 3) รีเซ็ตใหม่ รีเซ็ตแอกชั่น (Reset action Reset time)

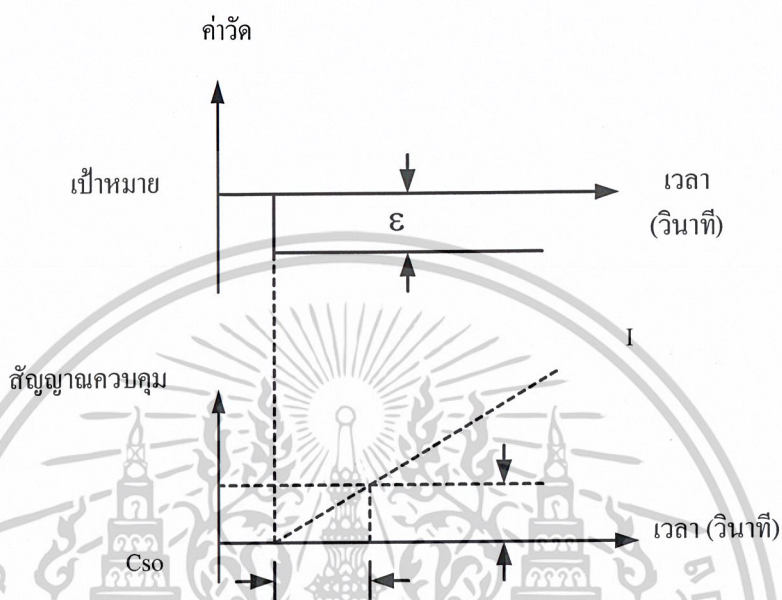
รีเซ็ตแอกชั่น คือ การกระทำที่ทำให้เกิดความสับสนดังนี้

$$CS = \frac{1}{T_1} \int \varepsilon dt \quad (2.12)$$

โดย  $T_1$  คือรีเซ็ตใหม่ มีหน่วยเป็น นาที

การควบคุมแบบนี้สัญญาณควบคุมจะแปรตามค่าอินทิเกรตต่อเวลาของผลต่าง เมื่อผลต่างเปลี่ยนเป็นสเตรป สัญญาณจะค่อยๆเพิ่มค่าขึ้นตามเวลา ตามรูปความหมายของรีเซ็ตใหม่ ( $T_1$ ) คือ

เวลาที่ใช้ไปในการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุมจนมีขนาดเท่าผลต่าง ที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเมื่อ  $T_i$  มีค่าน้อย ผลของ รีเซตแอกชั่น จะมากกว่าเมื่อ  $T_i$  มีค่ามาก



รูปที่ 2.15 ผลตอบรีเซตแอกชั่น

### 3.1) คุณสมบัติของ รีเซตแอกชั่น

- 1) ที่เกิดจากออฟเซต จะถูก รีเซตแอกชั่น แก้จนหมดไป
- 2) เมื่อ  $T_i$  มีค่าน้อยลงผลของรีเซตแอกชั่น จะมากทำให้เกิดการแกว่งขึ้นได้ซึ่งจะทำให้

ระบบขาดเสถียรภาพ

### 4) การกระทำอนุพันธ์ (Derivative action (Rate action))

การกระทำ ที่ทำให้ความสัมพันธ์ควบคุมกับผลต่างเป็นไปตามสูตร

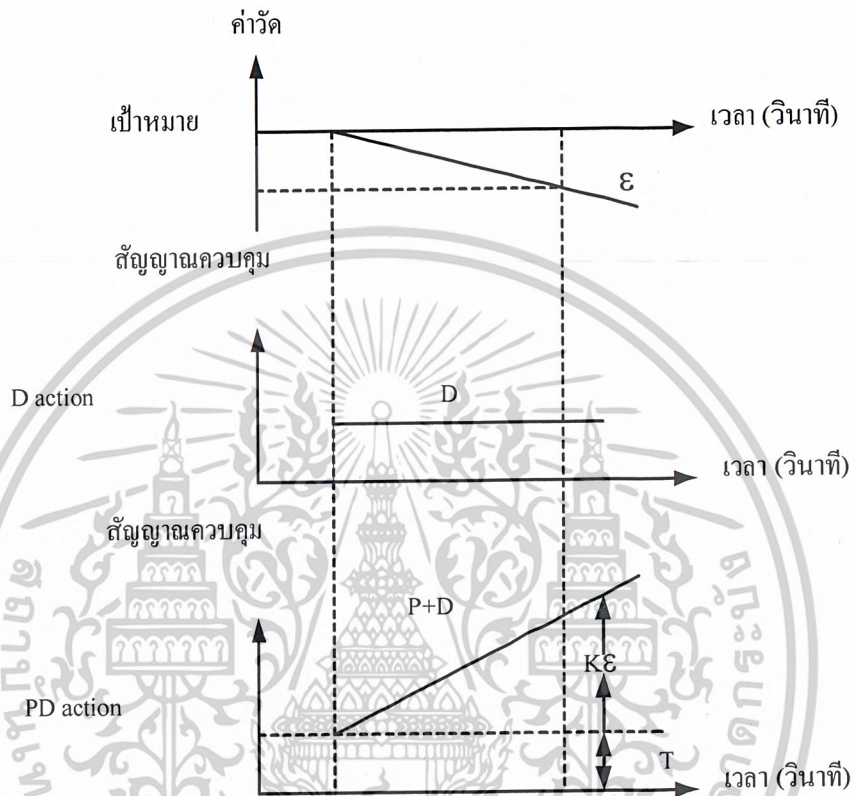
$$CS = T_D \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.13)$$

โดยที่  $T_D$  คือการกระทำอนุพันธ์ มีหน่วยเป็นนาที

สัญญาณควบคุมจะแปรผันตามอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของผลต่าง การควบคุมชนิดนี้มีผลในการหยุดการแปรเปลี่ยนของตัวแปร โพรเซสซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป เมื่อ ตัวแปร โพรเซสเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยอัตราหนึ่งสัญญาณควบคุมจะถูกผลิตให้แปรผันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกสร้างขึ้นเพื่อไปหยุดการเปลี่ยนแปลงนั้น ดี แอคชั่น เหมาะสำหรับไปใช้กับโปรเซสที่มีไทม์แล็กมากๆ



รูปที่ 2.16 ดีแอกชั่นและพีดีแอกชั่น

4.1) คุณสมบัติของ ดี แอคชั่น

- 1) เหมาะสำหรับ โปรเซสที่ มีไทม์แล็กจะ ช่วยทำให้การควบคุมถึงจุด ที่ต้องการเร็ว
- 2) ถ้า ทีดี มากไปผลของ ดี จะมากทำให้ระบบทั้งระบบไวขึ้น ขาดเสถียรภาพ
- 3) ไม่เหมาะสำหรับ โปรเซสที่มีน้อย และตัวแปร โปรเซสเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่นระบบ

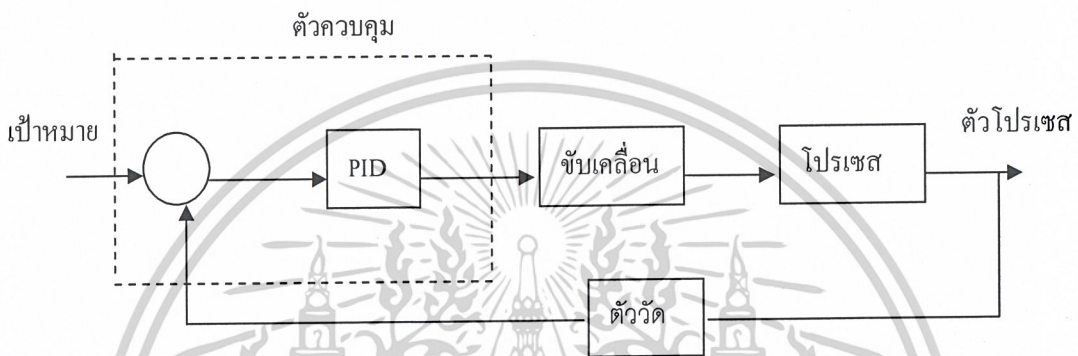
ควบคุมการไหลความดันเป็นต้น

2.5.3 วิธีการปรับค่า พีไอดี

1) ผลตอบของการควบคุมที่ดี

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับตัวควบคุม จะพยายามรักษาให้ค่าตัวแปร โปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอใน กรณีที่เกิดการรบกวนในระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปร โพรเซสมีค่าต่างจากค่าเป้าหมายไป ขณะหนึ่งตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ตัวแปร โพรเซสมี ค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย นี้ในที่สุด และ ลักษณะการนำค่าตัวแปร โพรเซสให้เข้าใกล้ เป้าหมาย จะแตกต่างกันตาม คุณสมบัติของระบบควบคุมบาง ระบบควบคุมอาจควบคุมให้ ตัวแปร โพรเซสส่งเข้าหาที่ค่าเป้าหมายได้เร็ว แต่บางระบบอาจทำได้ดีกว่าเราสามารถทดสอบ ความสามารถของระบบควบคุมโดยดูที่ผลตอบของการควบคุม



รูปที่ 2.17 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

1.1) มี โอเวอร์ชูต (Overshoot) และการแกว่ง  
 1.2) ตอบรับเร็ว  
 1.3) ตัวแปร โพรเซสมีค่าไม่เท่ากับค่าของเป้าหมายแม้ เวลาจะผ่านพ้นไปนาน เรียกว่า เกิดออฟเซต

1.4) ตอบรับเร็ว

เมื่อตัวแปร โพรเซสหยุดนิ่งที่ค่าเป้าหมายในขณะนั้นเกิด การรบกวน ที่มีเข้ามารบกวน ที่โพรเซส (Disturbance ได้แก่การเปลี่ยนของโหลดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น) ผลตอบของโพรเซสจะมีหลายแบบ

1.5) เกิด ออฟเซตได้ค่าผิดไปจากค่าเป้าหมายเดิม

1.6) เกิดการแกว่งเล็กน้อยก่อนกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิม

1.7) เกิดการแกว่งและขาดเสถียรภาพ

เมื่อพิจารณาผลตอบของการควบคุมชนิดต่างๆเหล่านี้จึงพอสรุปได้ว่าระบบการ ควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) มีเสถียรภาพไม่เกิดการแกว่ง (Oscillation) เมื่อถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ตอบรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายหรือการรบกวน ได้รวดเร็ว
- 3) ไม่เกิด ออฟเซ็ท

## 2) ความยากง่ายในการควบคุมของโปรเซส

“เขต ไทม์ เป็นศัตรูตัวร้ายของการควบคุม” ลักษณะสมบัติของโปรเซสนั้นทุกๆ ไปจะมี ไทม์แล็ก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากรูปคลื่นผลตอบของโปรเซสต่อสเตป อินพุต เราสามารถหาค่า (LE) และค่าคงตัวเวลาเขต ไทม์ (TE) โดยประมาณได้

อัตราส่วน LE/TE นี้จะเป็นค่าที่ใช้ประมาณความยากง่ายในการควบคุมและใช้เลือกแบบ การควบคุม

ตารางที่ 2.6 แบบการควบคุม

LE/TE	แบบการควบคุมที่เหมาะสม
$LE/TE < 0.2$	ON-OFF, P, PI
$0.2 < LE/TE < 1.0$	PI, PID
$1.0 < LE/TE$	Feed forward, Computer Control

$LE/TE < 1.0$  สามารถใช้การควบคุมแบบ PID ได้ตามปกติ

$0.5 < LE/TE < 1.0$  การควบคุมแบบ PID ก็ควบคุมได้ยากมาก

### 3) สาเหตุของการขาดเสถียรภาพในระบบ

- 3.1) ผลของระบบควบคุมข้างเดียวหรืออื่นๆ
- 3.2) การรบกวน เป็น คาบ (periodic)
- 3.3) มี ส่วนที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear element) ในระบบเอง เช่น ความฝืด เป็นต้น
- 3.4) โปรเซส เกน (Process gain) หรือ ลูปเกน (Loop gain) มีค่าสูงเกินไป
- 3.5) คุณสมบัติของ ตัวแปรในระบบ ไม่คงที่แปรเปลี่ยนตามการรบกวน, ค่าเป้าหมาย, เวลา เป็นต้น

### 4) ผลของ PID ต่อเสถียรภาพของระบบ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบพีไอได้นั้นถ้าเราลองแปรค่าพีบี,  $T_I$  และ  $T_D$  จะมีผลต่อผลตอบของระบบควบคุมดังนี้

#### 4.1) ผลของ พี แอคชั่น

เมื่อลดค่า พีบี ลงทำให้อัตราขยายสูงขึ้นจะมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ออฟเซ็ท ลดลง
- 2) คาบ (period) การแกว่งเล็กน้อย
- 3) อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้นระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

#### 4.2) ผลของ ไอ แอคชั่น

เพื่อให้ พี และ ดี แอคชั่น คงที่แล้วลองลด  $T_I$  (Reset time) จะมีผลทำให้

- 1) ออฟเซ็ท หายไป
- 2) ผลตอบจะเร็วขึ้น
- 3) อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

#### 4.3) ผลของ ดี แอคชั่น

เมื่อให้ พี และ ไอ แอคชั่น คงที่แล้วลองเพิ่มเวลา  $T_D$  (Derivative time) ให้ยาวขึ้นจะมี

ผลทำให้

- 1) อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งลดลง ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น
- 2) คาบ ของการแกว่งสั้นลงตามปกติการใช้ค่าเวลา  $T_D$  ให้ยาวมีแนวโน้มที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากก็จริง แต่ก็มีจุดอ่อนตรงที่ตอบรับต่อสัญญาณการรบกวนได้ง่ายทำให้ผลตอบตอบสนองของระบบไวเกินไปผลตอบของการควบคุมแบบ ต่างๆ อาจการเปลี่ยนค่าเป้าหมายและการเกิด Disturbance โดยตั้งค่าพีบี  $T_I$  และ  $T_D$  ต่างกัน

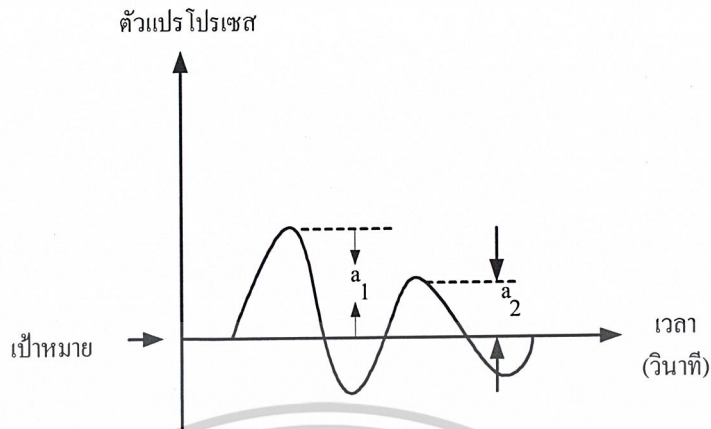
#### 5) คุณภาพของการควบคุม

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระบบควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติคือ มีเสถียรภาพ ผลตอบเร็ว และไม่เกิด ออฟเซ็ท การควบคุมจะต้องมีเกณฑ์ตัดสินที่มีหลักเกณฑ์

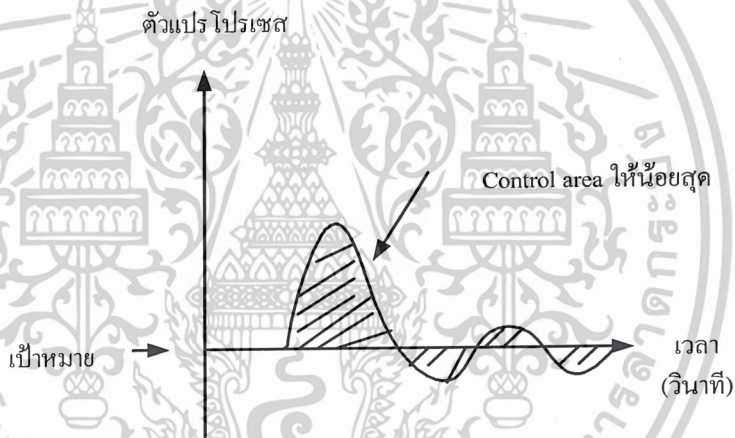
##### 5.1) เกณฑ์ในการวัดที่ใช้ตัดสินคุณภาพการควบคุม มีดังนี้

- 1) อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง (Damping ratio criterion)
- 2) พื้นที่การควบคุมน้อยสุด (Minimum control area criterion)
- 3) ความสูงของ Overshoot แรก (Overshoot amplitude criterion)
- 4) ผลตอบต่อ Disturbance (Minimum disturbance criterion)
- 5) ผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ (Frequency response criterion)

ในการควบคุมโปรเซส เกณฑ์อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่งเป็นที่นิยม ใช้มากที่สุด เพราะสามารถวัดผลได้ง่าย การควบคุมที่ดีจะให้อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง 25% หรือ 1 ต่อ 4



รูปที่ 2.18 อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่ง 25% หรือ 1 ต่อ 4



รูปที่ 2.19 พื้นที่การควบคุมน้อยสุด

## 6) วิธีการปรับ

ได้มีนักคณิตศาสตร์ที่คิดวิธีที่จะหาทางตั้งค่า พีไอดี เพื่อให้ได้การควบคุมที่มีคุณภาพดีที่สุดหลายวิธี ดังตัวอย่างที่แสดงในตาราง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติก็ยังไม่มียุติวิธีใดที่ดีพอที่จะสามารถนำไปใช้ในทุกระบบได้

ในทางปฏิบัติวิธีนิยมที่ใช้ในการปรับค่า พีไอดี สำหรับการควบคุมเพื่อให้ได้ 2.5% แด้มปีงเรโซว์ (Damping ratio) มี 3 วิธีคือ

### 6.1) รีแอกชันเคิร์ฟวเมธอด (Reaction Curve method)

#### วิธีการ

##### 1) ให้เปลี่ยนระบบควบคุมเป็นวงรอบเปิด (Open Loop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หา ลักษณะเฉพาะ ของกระบวนการ (Process Characteristic) โดยที่ เปลี่ยนค่า สัญญาณควบคุมแล้วบันทึกรูปคลื่น ของตัวแปร โพรเซส

3) หาอัตราขยายของกระบวนการ (Process gain (K<sub>P</sub>)) เดดไทม์ และค่าคงตัวเวลา จากหาลักษณะเฉพาะ ของกระบวนการ

$$K_P = \frac{\Delta PV}{\Delta CS} \quad (2.14)$$

4) นำค่า K<sub>P</sub>, LE, TE ที่หาได้ไปคำนวณหา PB, T<sub>I</sub> และ T<sub>D</sub> จากตาราง



รูปที่ 2.20 รีแอกชันเคิร์ฟวเมเร็ด

ตารางที่ 2.7 รีแอกชันเคิร์ฟวเมเร็ด

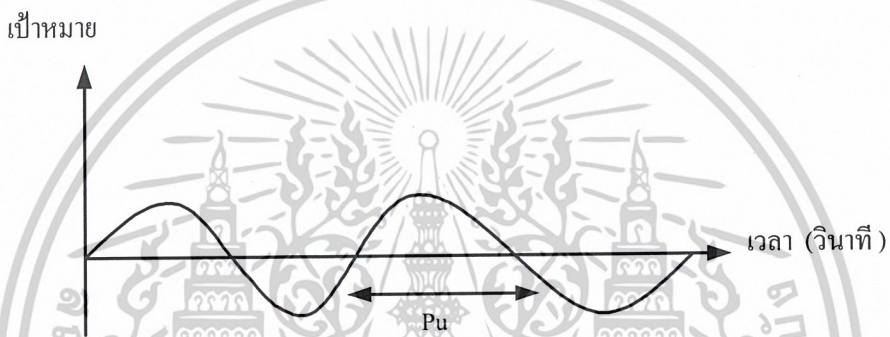
ชนิดการควบคุม	PB%	T <sub>I</sub> (นาที)	T <sub>D</sub> (นาที)
P	100K <sub>p</sub> .LE/TE		0
PI	110K <sub>p</sub> .LE/TE	3.3 LE	0
PID	8.3K <sub>p</sub> .LE/TE	2 LE	0.5 LE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2) อัลทิเมตเซนซิติวิตีเมธอด (Ultimate sensitivity method)

วิธีการ

- 1) ให้ระบบควบคุมเป็นวงรอบปิด
- 2) ตั้ง  $T_I$  สูงสุด และ  $T_D$  ต่ำสุด ใช้ พี แอคชั่น ในการควบคุมไว้อย่างเดียว
- 3) ครั้งแรกที่ตั้งค่า พีบี ไว้ที่ค่าสูงสุด แล้วลดค่า พีบี ลงมา เพื่อลองเปลี่ยนค่า เป้าหมายเพื่อดูผลตอบลดค่า พีบี ให้ลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงค่าที่ เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อยจะทำให้โปรเซสเกิดแกว่งต่อเนื่องไปตลอดค่า พีบี ในขณะนั้นเรียกว่า  $P_{Bu}$



รูปที่ 2.21 โปรเซสเกิดการแกว่ง

- 4) หาคาบเวลาในการแกว่งให้เท่ากับ  $P_{Bu}$
- 5) นำค่า  $P_{Bu}$  และ  $P_u$  ที่หาได้ไปใช้คำนวณหาค่า พีบี,  $T_I$  และ  $T_D$  จากตาราง

ตารางที่ 2.8 อัลทิเมตเซนซิติวิตีเมธอด

ชนิดการควบคุม	PB	$T_I$	$T_D$
P	2 $P_{Bu}$	-	0
PI	2.2 $P_{Bu}$	0.38 $P_u$	0
PID	1.7 $P_{Bu}$	0.5 $P_u$	0.125 $P_u$

## 6.3) การทดสอบที่ตัดวิธีที่ผิดทิ้ง (Trial and error)

เป็นวิธีการที่ใช้หลักการของ อัลทิเมตเซนซิติวิตีเมธอด (Ultimate Sensitivity method)

เอกสารนี้เขียนขึ้นสำหรับส่งมอบงานให้หรือการเชิง ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) พี คอนโทรล (P control)

- 1.1) ปรับตัวควบคุมไปที่ แมนนวลโหมด (Manual mode)
- 1.2) ปรับ พีบี ไปสูงสุด  $T_I$  สูงสุดและ  $T_D$  ต่ำสุด
- 1.3) ปรับค่าเป้าหมาย (Set point) ไปสู่ค่าที่ต้องการ
- 1.4) ปรับแมนนวลคอนโทรล (Manual Control) จนตัวแปรโปรเซสหรือค่าวัด

ได้เท่ากับค่าเป้าหมาย

- 1.5) ปรับตัวควบคุมไปที่ ควบคุมอัตโนมัติ (Automatic mode)
- 1.6) เปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อย เมื่อค่าวัดเริ่มเปลี่ยนจึงลดค่าเป้าหมาย

กลับมาสู่ที่เดิม

- 1.7) ลดค่า พีบี ลงมาและทำขั้น 6 ใหม่ โดยสังเกตผลตอบรับของค่าวัด
- 1.8) ทำขั้น 6 และ 7 หลายๆ ครั้งจนได้อัตราส่วนช่วงกว้างการแกว่งของผล

ตอบเป็น 25% Damping ratio

## 2) พีไอ คอนโทรล (PI Control)

- 2.1) ทำเหมือน พี คอนโทรล จากขั้น 1 ถึง 8 เพื่อหาค่า พีบี ที่ดีที่สุด
- 2.2) ลดค่า  $T_I$  จน ออฟเซต หายไป
- 2.3) เพิ่มค่า  $T_I$  ถ้าเกิดการแกว่งขึ้น
- 2.4) ทำขั้น 2 และ 3 จนกว่าจะให้ผลตอบ 25%

## 3) พีไอดี คอนโทรล (PID Control)

- 3.1) ทำเหมือน พี คอนโทรล จากขั้น 1 ถึง 6
- 3.2) ลดค่า พีบี ลงมาจนเกิดการแกว่ง
- 3.3) เพิ่ม  $T_D$  จนการแกว่งหยุด
- 3.4) ลดค่า พีบี จนเกิดการแกว่งใหม่อีก
- 3.5) ทำขั้น 2 ถึง 4 หลายครั้งจน  $T_D$  ไม่สามารถหยุดการแกว่งได้
- 3.6) เพิ่มค่า พีบี จนหยุดการแกว่ง
- 3.7) ตั้งค่า  $T_I$  เท่ากับค่า  $T_D$  ค่าสุดท้าย ( $T_I = T_D$  กรณีที่ PID interfer Coefficient

เท่ากับ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช จาก ฟิลลิปส์ 89C51RD2

### 2.6.1 คุณสมบัติทางเทคนิคและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ้างอิงเพื่อการเรียนรู้ และใช้งานในนี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash memory) ในอนุกรม 89C51Rx2 โดยจะเน้นไปที่เบอร์ 89C51RD2

#### 1) คุณสมบัติทางเทคนิคของ 89C51RD2

สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่โดดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรมนี้มีดังต่อไปนี้

1.1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

1.2) หน่วยความจำโปรแกรมภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น แบบ แฟลชทำให้สามารถอ่านและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่น ครั้งจึงสามารถใช้งานในรูปแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ชีพเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอกส่งผล ให้สามารถใช้งาน พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพขนาดของ หน่วยความจำโปรแกรมสูง 64 กิโลไบต์

1.3) หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์

1.4) สามารถเขียนหรือโปรแกรมข้อมูลลงไปหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจรหรือในระบบ (ISP: In-System programming) โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำโปรแกรมหรือที่เรียกว่า บูทอรัม (BootROM) ทำหน้าที่ในส่วนนี้แรงดันที่ใช้ในการโปรแกรมแบบ ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5) 89C51RD2 ใช้แรงดันในการโปรแกรมได้ทั้ง +5V และ+12V โดยใช้แรงดัน +12V จะสามารถโปรแกรมได้ 1000 ครั้งและถ้าใช้แรงดัน +5V สามารถโปรแกรมได้ 10000 ครั้ง

1.6) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 3 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเคิลและ 20 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเคิล

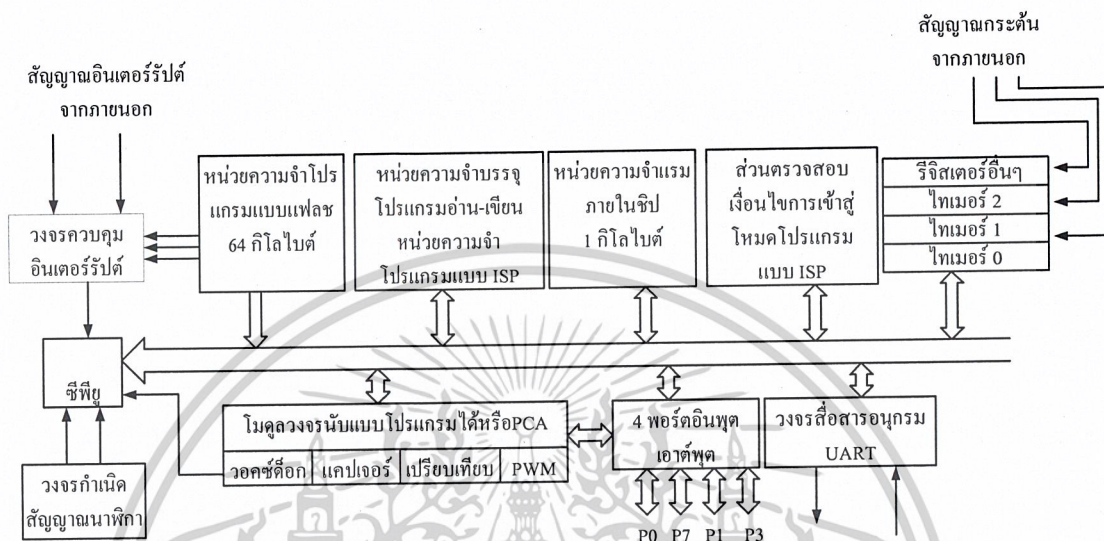
1.7) 89C51RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 6 ลูกต่อแมกซ์ซินไซเคิลและสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมกซ์ซินไซเคิลได้

1.8) ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานจะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9) ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต เป็นสารกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต



รูปที่ 2.22 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 98C51 RD 2

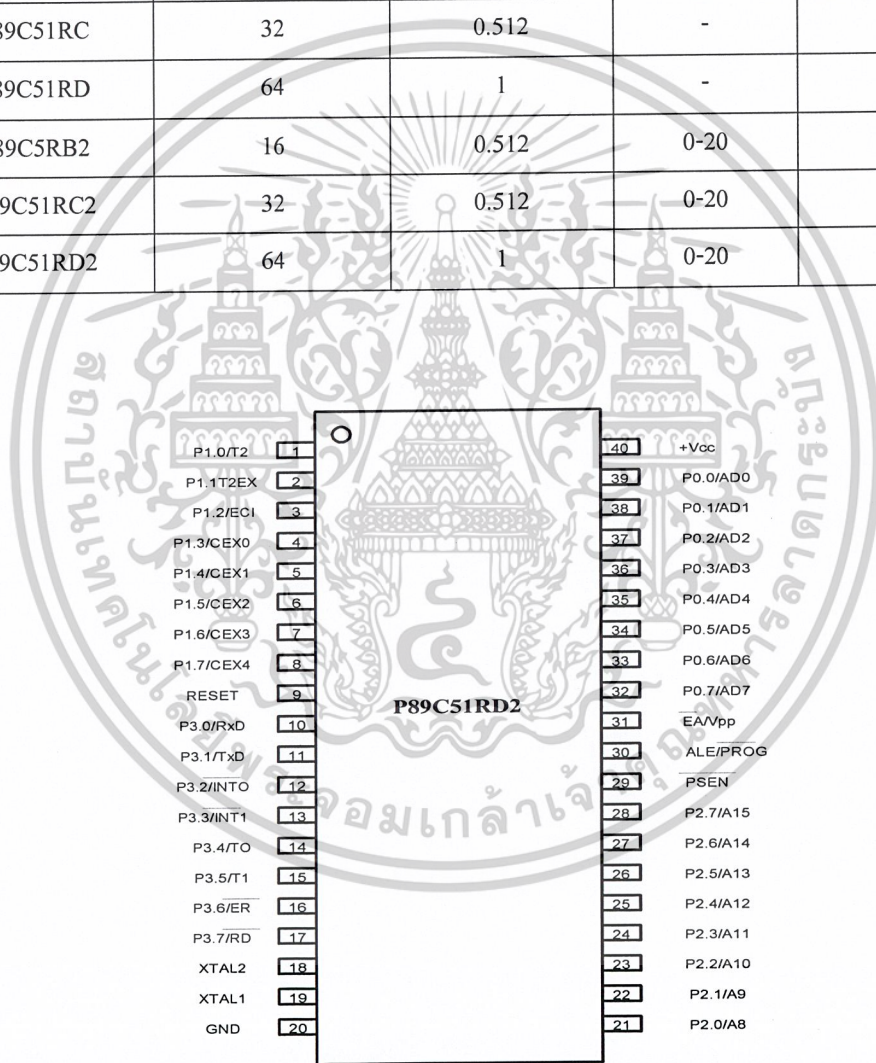
- 1.10) มีวงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบฟลิวเพิลิกซ์
- 1.11) ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทม์เมอร์ 0, 1 และ 2)
- 1.12) มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ ดิพีทอาร์ 2 ตัว
- 1.13) สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท
- 1.14) กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ
- 1.15) สามารถติดตติดหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- 1.16) มีวอตช์ดีออกไทม์เมอร์
- 1.17) มีโมดูลวงจรรนับโปรแกรมได้ (PCA: Programmable Counter Array) ซึ่งบรรจุวงจรถ่ายโอนนับสัญญาณ (capture) เปรียบเทียบสัญญาณ วงจรมอดูลเลขขึ้นทางความกว้างพัลส์ (PWM) 5 โมดูลและวอตช์ดีออกไทม์เมอร์ (watchdog timer)

ในรูปที่ 2.22 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของ 89C51RD+ และ 89C51RD 2 จะเห็นได้ว่าคล้ายคลึงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐานแต่มีส่วนประกอบที่เพิ่มเติม อาทิ หน่วยความจำเก็บโปรแกรมบูทอิมสำหรับทำการอ่าน-เขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมแบบไอเอสพี โมดูลวงจรรนับโปรแกรมได้หรือพีซีเอ (Programmable Counter Array)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 89C51Rx และ Rx2

เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำ โปรแกรมแบบแฟลช (kb)	หน่วยความจำ ข้อมูลแรม (kb)	ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักที่ใช้	
			โหมด 6 สัญญาณ นาฬิกา (MHZ)	โหมด 12 สัญญาณ นาฬิกา (MHZ)
P89C51RC	32	0.512	-	0-33
P89C51RD	64	1	-	0-33
P89C5RB2	16	0.512	0-20	0-33
P89C51RC2	32	0.512	0-20	0-33
P89C51RD2	64	1	0-20	0-33



รูปที่ 2.23 การจัดขาของ 89C51RD 2

ซึ่งภายใน พีซีเอ็นบีบรรจุออสซิลเลเตอร์ ไทม์เมอร์ วงจรตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ วงจร

เปรียบเทียบสัญญาณและวงจรพีดีบีเอ็มรวมถึง ไทม์เมอร์ 2 (Timer 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม 89C51RD2 ต่างก็มีเบอร์อื่นๆ ที่อยู่ร่วมอนุกรมเดียวกันดังแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้ของ ฟิลิปป์ในตารางที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานที่เหมือนกันแต่ 89C51RD2 ที่ขา พอร์ต 1 คือ P1.0-P1.7 จะมีความสามารถพิเศษเพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

#### 3.1 ทฤษฎีสถานะสัญญาณ

ในอดีตรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าโดยมากจะอยู่ในรูปสัญญาณแอนะล็อกมีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและจะถูกประมวลผลโดยตัวการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลยหรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้งานได้ การที่จะแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ได้นั้นสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกสำหรับระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณข้อมูลทางดิจิทัล

#### 3.2 วงจรสถานะสัญญาณ

วงจรสถานะสัญญาณที่ใช้นั้นจะมีส่วนประกอบ 5 ชนิดคือ

- 1) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
- 2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)
- 3) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (Digital to Analog Converter)
- 4) วงจรเรจิสเตอร์
- 5) วงจรปิดเปิดพัลลวม

##### 3.2.1 วงจรคอนโทรลเลอร์

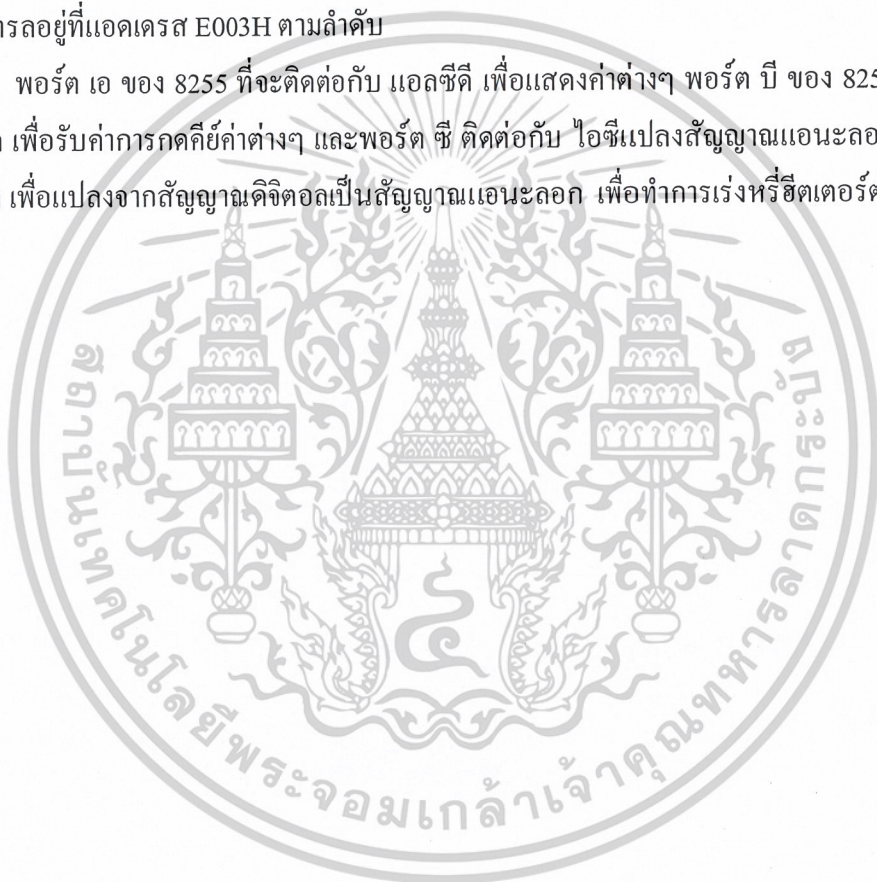
จากรูปที่ 3.1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท ฟิลิปส์ เบอร์ P89C51 RD2 เพราะในการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษาซีไม่ได้ใช้ภาษาแอสเซมบลีจึงให้เฮ็คฟายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตั้งแต่ 10 kByte ขึ้นไป ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ ไม่สามารถเก็บไว้ได้เพียงพอโดย MCS-51 เบอร์ 89C51RD2 นี้มีความจุของ เฟสลโปรแกรม เท่ากับ 64 kByte ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของระบบ

ในวงจรจะต่อหน่วยความจำเบอร์ 6264 ขนาด 8 kByte เพื่อจะขยายหน่วยความจำที่ข้อมูลของ MCS-51 ด้วยเพราะเมื่อเราใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมการกำหนดตัวแปรขึ้นมาจะใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากและต่อ 8255 เพื่อขยายพอร์ตใช้งานของ MCS-51 เพิ่มขึ้นอีก 3 พอร์ต เพื่อให้เพียงพอกับการใช้งานของระบบ โดยหลักการติดต่อกับหน่วยความจำเบอร์ 6264 กับไอซีเบอร์ 8255 เป็นดังนี้

จะใช้ ไอซี เบอร์ 74LS373 ในการแยกสัญญาณของพอร์ต 1 ซึ่งมีทั้งสัญญาณแอดเดรสและสัญญาณข้อมูลออกจากกันและมีไอซี เบอร์ 74LS138 ในการดีโค้ดแอดเดรสเพื่อเลือกใช้หน่วยความจำ เบอร์ 6264 กับ ไอซีเบอร์ 8255 โดยหลักการทำงานของไอซี เบอร์ 74LS138 เป็นดังนี้

เพราะฉะนั้นที่แอดเดรส 0000H – 1FFFH เอาท์พุท Y0 จะทำงานโดยสัญญาณที่ขา Y0 จะไป แอคทีฟ ให้หน่วยความจำทำงานเพื่อทำการรับส่งข้อมูลกับ MCS-51 และที่แอดเดรส E000H –FFFFH เอาท์พุท Y7 จะทำงานโดยสัญญาณที่ขา Y7 จะไป แอคทีฟให้ ไอซี 8255 ทำงานโดยจะได้ว่า พอร์ต เอ อยู่ที่แอดเดรส E000H, พอร์ต บี อยู่ที่แอดเดรส E001H, พอร์ต ซี อยู่ที่แอดเดรส E002H และพอร์ต คอนโทรลอยู่ที่แอดเดรส E003H ตามลำดับ

พอร์ต เอ ของ 8255 ที่จะติดต่อกับ แอลซีดี เพื่อแสดงค่าต่างๆ พอร์ต บี ของ 8255 จะติดต่อกับ คีย์แพค เพื่อรับค่าการกดคีย์ค่าต่างๆ และพอร์ต ซี ติดต่อกับ ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อแปลงจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อทำการเร่งหรือรีเซ็ตต่อไป





### 3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

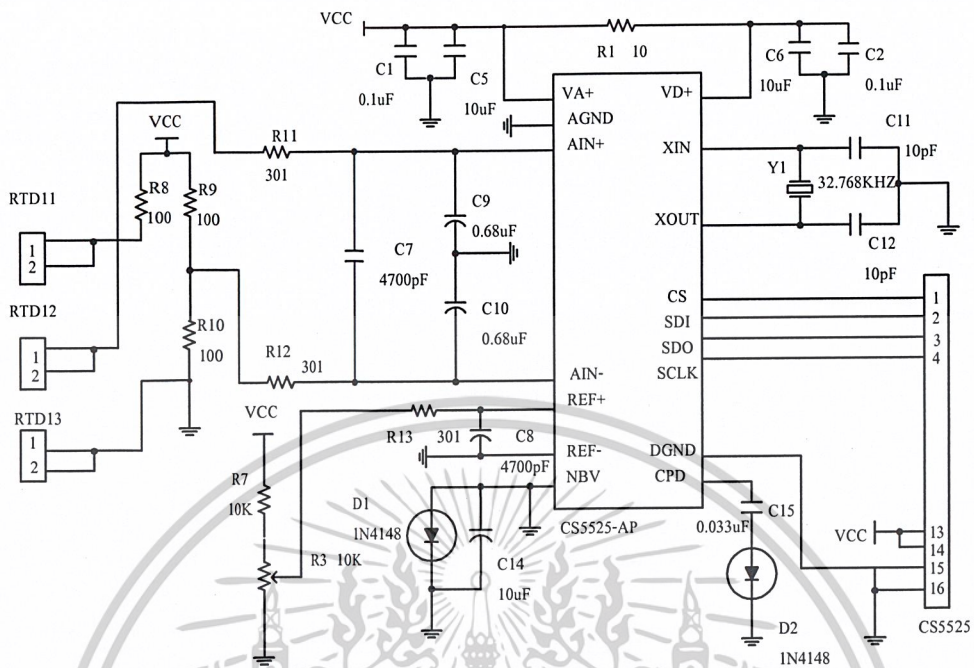
การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่องแอนะล็อกเป็นสัญญาณติดต่อกันแต่ถ้าว่าการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิทัลเป็นสัญญาณในการทำงาน ดังนั้น ถ้าเราต้องการที่จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเราทำงานแล้วเราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกที่เราใช้อยู่ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ที่รับรู้ได้เมื่อประมวลสัญญาณเสร็จก็จะส่งข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากที่เราจะเข้าใจข้อมูลนั้น ดังนั้น เราจึงเปลี่ยนข้อมูลที่สัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อให้มนุษย์เข้าใจในข้อมูล ดังนั้นพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ซึ่งเป็นการประสานโลกของคอมพิวเตอร์เข้ากับโลกมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จากรูปที่ 3.2 จะใช้ ไอซี เบอร์ CS 5525 เป็น ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขนาด 16บิตในการที่จะแปลงสัญญาณแอนะล็อกจากวงจรบริดจ์ของอาร์ทีดีชนิด พีที100 คือค่า  $100 \Omega$  ที่  $0^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นวงจรสมมูลบริดจ์ที่ใช้จะใช้ตัวต้านทานค่า  $100 \Omega$  3 ตัวต่อเข้ากับ อาร์ทีดี ชนิด 3 สายเป็นวงจรสมมูลบริดจ์ขึ้นมาโดยขา AV ทั้งสองของวงจรบริดจ์ต่อเข้ากับขา AIN+ (ขา3) และขา AIN-(ขา4) ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.2 ไชเคิล ขนาด 32.768 kHz กำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อใช้ในการสุ่มสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้เป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 3.2 R3 ค่า 10 K เป็นตัวต้านทานแบบ มัลติทูน 25 รอบในการปรับแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) ให้กับ ไอซีเบอร์ CS 5525 โดยแรงดันอ้างอิงนี้ต่อเข้ากับขา REF+ (ขา20) และขา REF- (ขา19) ต่อลงกราวด์ตามลำดับ

MCS-51 จะติดต่อกับ ไอซี เบอร์ CS5525 โค้ส P1.2 ต่อกับขา CS, P1.3 ต่อกับขา SD1, P1.4 ต่อกับขา SD0 และ P1.5 ต่อกับขา SCLK ตามลำดับ เพื่อรับข้อมูลดิจิทัลที่ทำการแปลงแล้วมาทำการประมวลผลโดย MCS-51 ต่อไป



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

### 3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (Digital to Analog Converter)

ในส่วนของ วงจรแปลงสัญญาณสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก นั้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงหลักการเบื้องต้นของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 3.3

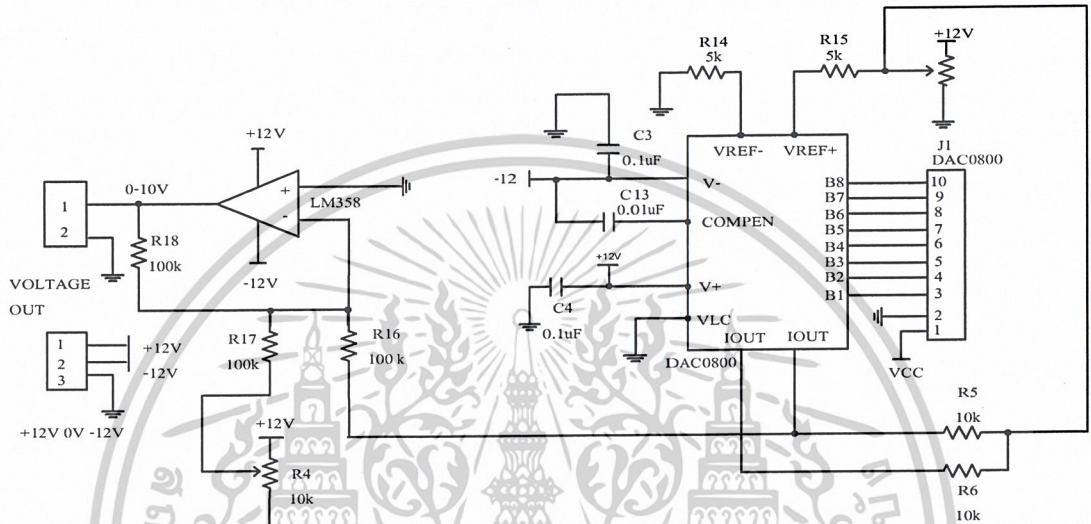
จากรูปที่ 3.3 จะใช้ ไอซี เบอร์ DAC 0800 ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก 0-10 V โดยมีค่า R2 ค่า 10 K เป็นตัวปรับแรงดันอ้างอิงให้กับ ไอซี เบอร์ DAC 0800 แรงดันอ้างอิงที่ได้จะเข้าที่ขา VREF+ (ขา 14) ของ ไอซีแปลงสัญญาณสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

แต่เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากขา 4 ของ ไอซีเบอร์ DAC 0800 มีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ ซึ่ง ในที่นี้เราตั้งไว้ที่แต่แรงดันที่ต้องการในระบบคือ 0-10 V จึงใช้ +5 V ถึง -5V

ออปแอมป์เบอร์ LM 358 ต่อเป็นวงจรอินเวอร์ตติ้งโดยที่อินพุตของวงจรจะมีวงจรรวมสัญญาณ 2 สัญญาณเข้าด้วยกันคือสัญญาณจากไอซีเบอร์ DAC0800 +5 V ถึง -5 V และสัญญาณจาก R4 ค่า 10kΩ มีค่าจาก -12V ถึง 0 V

จากหลักการที่ว่าเมื่อสัญญาณดิจิทัลอินพุตของ DAC 0800 มีค่าเท่ากับ 00H แรงดันเอาต์พุตจะได้เท่ากับ +5 V เราทำการปรับ R4 ให้เท่ากับ -5 V เพื่อหักล้างให้แรงดันเท่ากับ 0 V และถ้าสัญญาณ

ดิจิตอลอินพุตของ DAC 0800 มีค่า พูลสเกล เท่ากับ FFH แรงดันเอาต์พุตจะได้เท่ากับ -5 V แต่มีแรงดันจาก R4 ที่เข้ามาหักล้างเท่ากับ -5 V จะได้แรงดันเอาต์พุตที่แท้จริงเท่ากับ -5 V-5 V = -10 V แต่เราต่อ ICLM358 เป็นวงจรถอนอินเวอร์ต ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจะได้เท่ากับ 10 V ดังนั้นเราจะได้สัญญาณที่เราต้องการคือ 0- 10 V

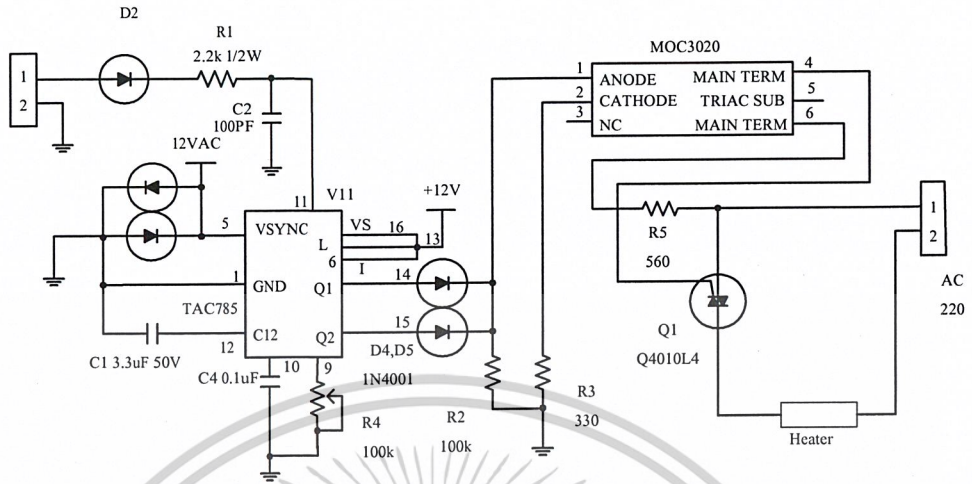


รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

### 3.2.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์

จะใช้ ไอซี เบอร์ TCA 785 ในการกำเนิดสัญญาณเลื่อนมมทริกไดโอดในการเร่งหรือฮีตเตอร์โดยมมทริกไดโอดจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก คือ 0-10 V ที่ขา V11 (ขา11) ของ ไอซีเบอร์ TCA 785

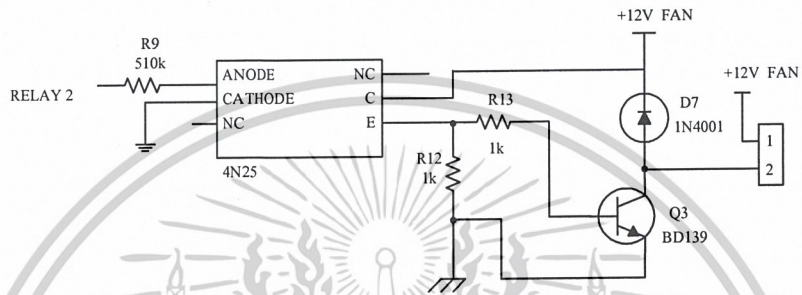
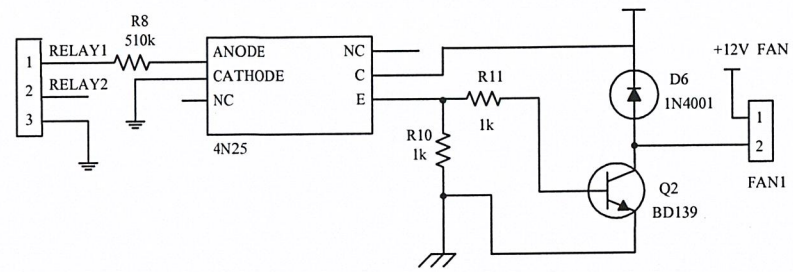
สัญญาณเอาต์พุตจาก TCA 785 จะต่อเข้ากับโฟโต้ไดโอด (Photo Diac) เบอร์ MOC 3020 เพื่อทริกไดโอดให้ทำการเร่งหรือฮีตเตอร์ต่อไป ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์

### 3.2.5 วงจรควบคุมพัดลม

จากรูปที่ 3.5 จะใช้ ไอซีเบอร์ 4N25 เป็น ไอซีโฟโตทรานซิสเตอร์ (IC PhotoTransistor) ในการแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรขับพัดลมโดยเมื่อขา 1 ของ 4N25 เป็น “1” โฟโตทรานซิสเตอร์ภายในจะนำกระแสมีสัญญาณ ไปฮัสให้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 นำกระแสทำให้พัดลมต่อครบวงจรพัดลมก็จะทำงาน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในการวัดของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมแต่ละตัว ค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งเมื่อค่าที่ได้จากการวัดนั้นมีความถูกต้องและค่าความแม่นยำต่ำแล้ว ก็ย่อมหมายความว่าเอาต์พุตของระบบนั้น ไม่ได้มาตรฐานที่วางไว้ ดังนั้นการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมจะช่วยให้เกิดความมั่นใจในการทำงานของระบบการผลิตได้เพื่อผลผลิตจะได้มีมาตรฐานด้านคุณภาพตามที่กำหนดได้ ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีถือว่าเป็นหัวใจหลักของกระบวนการผลิตเช่นกัน เพราะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีที่มีความเที่ยงตรง และมีความแม่นยำ ดังนั้นแล้วส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรก็ถือว่าเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อวงจรต่างๆ นั้นให้เอาต์พุตได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้แล้วก็ย่อมหมายความว่า ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีมีความถูกต้อง และความเที่ยงตรงสูง ในบทที่ 4 นี้จึงจะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลองของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

#### 4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

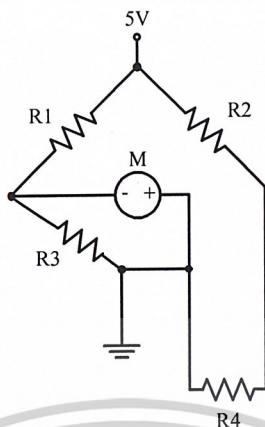
โดยทั่วไปวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จะให้เอาต์พุตเป็นตัวเลขฐานสิบ และเป็นเลขฐานสอง จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 4.2 จะเป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยให้ไอซีเบอร์ CS 5525-AP

ดังนั้นจาก รูปที่ 4.1 วงจรวิศวะโตนบริดจ์จะได้สมการ

$$\Delta V = \frac{ER_3}{R_1 + R_3} - \frac{ER_4}{R_2 + R_4} \quad (4.1)$$

กำหนดให้  $R_1 = R_2 = R_3 = 100\Omega$

$E = 5v$



รูปที่ 4.1 วงจรวิธสโตนบริดจ์

ต้องการทราบค่าของ  $R_4$  ซึ่งเป็นความต้านทานของอาร์ทีดีเพื่อนำค่าความต้านทานที่ได้ไปเทียบกับตารางมาตรฐานของอาร์ทีดี เพื่อหาค่าอุณหภูมิของอาร์ทีดีออกมา

จากสมการที่ 4.1 เหลือค่า  $\Delta V$  ที่ยังไม่ทราบค่าโดยค่าของ  $\Delta V$  ได้จากค่าของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยมีขนาด 16 บิต ก็มียค่าเปลี่ยนแปลงจาก 0- 65535 และได้ทำการตั้งค่า ฟูลสเกล ให้ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยโปรแกรมไว้ที่ 0-1V ดังนั้นถ้าค่าที่อ่านได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เท่ากับ 10000 จะคิดออกมาเป็น  $\Delta V$  ดังนี้

$$\Delta V = \frac{10000}{65535} \times 1V$$

$$= 152.59 \text{ mv}$$

เมื่อได้ค่า  $\Delta V$  แล้ว แทนในสมการที่ 4.1

$$\Delta V = \frac{ER_3}{R_1 + R_3} - \frac{ER_4}{R_2 + R_4}$$

$$152.59 = \frac{5 \times 100}{200} - \frac{5 \times R_4}{200}$$

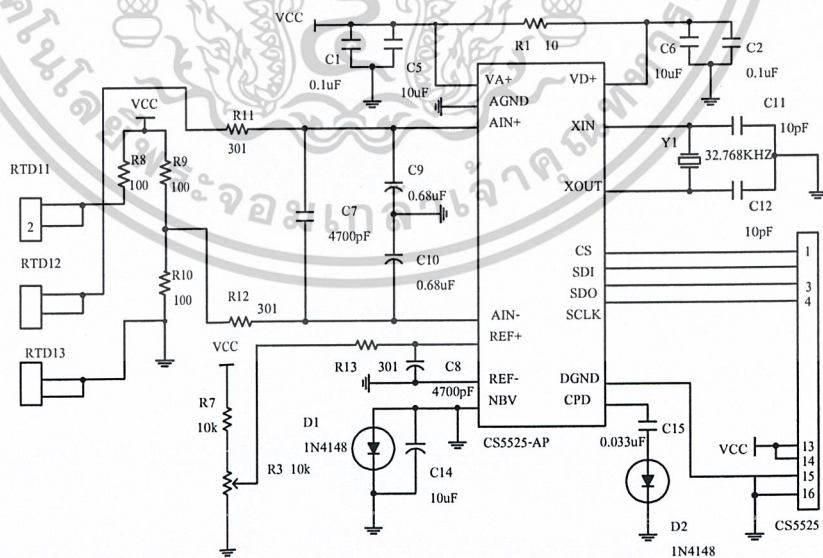
$$= 300 \Omega$$

นำค่า  $R_4$  ไปเทียบกับตารางก็จะได้ค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เทียบค่าอุณหภูมิ

อุณหภูมิ(° C)	ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )	DISPLAY (mv)
30	122.6	153.11
40	115.6	191.3
50	119.4	261.8
60	123.2	301.5
70	127	339.3
80	130.8	366.8
90	134.7	400.4
100	138.5	432.5
110	142.2	461.8
120	146	498.3
130	149.8	514.5
140	153.5	547.8
150	157.3	573.4



รูปที่ 4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ประกอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลตามรูปที่ 4.2
- 2) ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
- 3) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

อินพุต (V)	เอาต์พุต(V)
0	00H
1.959	32H
3.93	64H
5.873	96H
7.851	C8H
10	FFH

#### 4.2.3 ผลการทดลอง

จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าอินพุตที่ป้อนให้วงจร โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ และเมื่อนำค่าจากการทดลองนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณแล้วปรากฏว่า ข้อมูลนั้นสัมพันธ์กันจึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

#### 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ดังรูปที่ 4.3 นั้นจะให้ไอซีเบอร์ DAC0800 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณแอนะล็อกอินพุตที่จ่ายให้กับวงจรดังตารางที่ 4.3



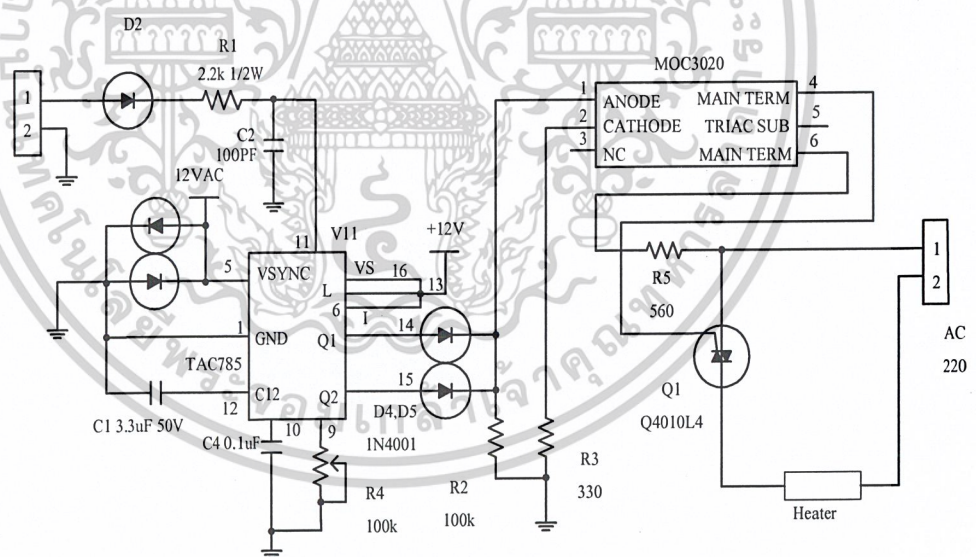
### 4.3.2 ผลการทดลอง

จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าอินพุตที่ป้อนให้วงจร โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ และเมื่อนำค่าจากการทดลองนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณแล้วปรากฏว่า ข้อมูลนั้นสัมพันธ์กันจึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

### 4.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์

จะใช้ ไอซี เบอร์ TCA785 ในการกำเนิดสัญญาณเลื่อนมุมทริกไดแอคในการเร่งฮีตเตอร์โดยมุมทริกไดแอคจะเปลี่ยนแปลงตามที่สัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกคือ 0-10 V ที่ขา V11 (ขา11) ของ ไอซี เบอร์ TCA 785

สัญญาณเอาต์พุตจาก TCA785 จะต่อเข้ากับโฟโต้ไดแอค (Photo Diac) เบอร์ MOC 3020 เพื่อทริกไทรแอค ให้ทำการเร่งฮีตเตอร์ต่อไป ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรควบคุมฮีตเตอร์

#### 4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

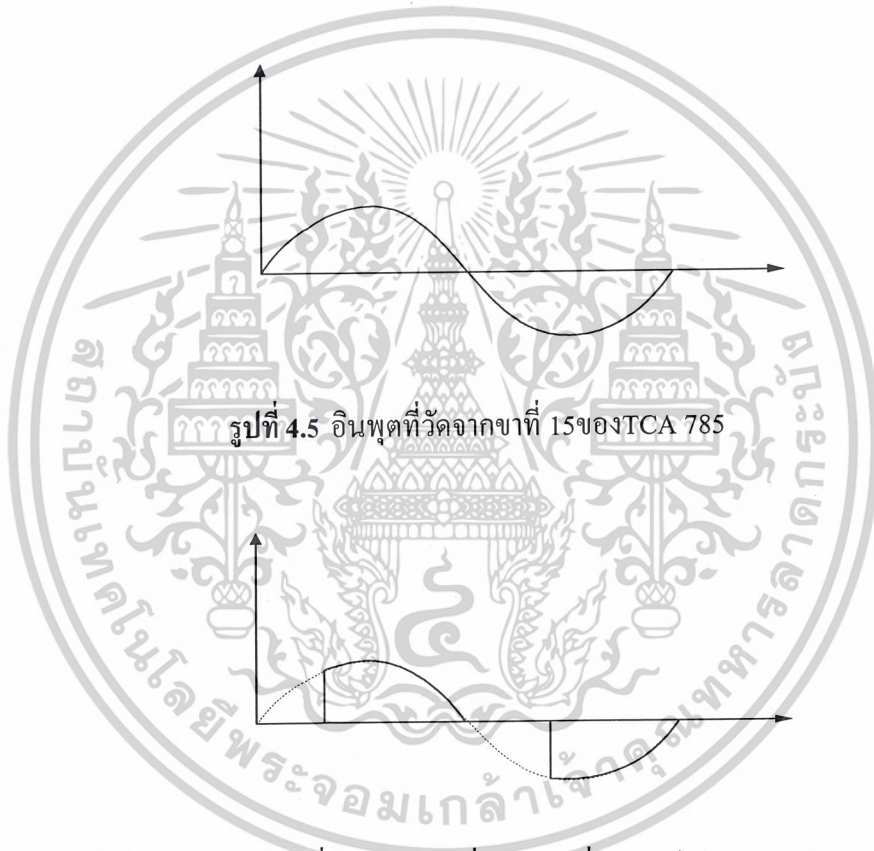
- 1) ประกอบวงจรควบคุมฮีตเตอร์ ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
- 3) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจร

#### 4.4.2 ผลการทดลอง

เมื่อมีอินพุตที่เป็น AC เข้ามาที่ไทรแอก ไอซีเบอร์ TCA785 จะสร้างสัญญาณเลื่อนมุมไปให้กับ ไอซีโฟโต้ไดโอดแอค ทำให้ไอซีโฟโต้ไดโอดแอคไปทริกให้กับไทรแอก ไทรแอกจะทำงานไปตัดช่วงสัญญาณ AC ที่เข้าฮีตเตอร์ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ โดยการตัดสัญญาณที่เข้าฮีตเตอร์จะเป็นไปตามสัญญาณจาก วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เอาต์พุตที่วัดคร่อมที่ฮีตเตอร์

### 4.5 การนำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีไปสอบเทียบอาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์

#### 4.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.7
- 2) กำหนดย่านการวัดอุณหภูมิ ที่ 0% ถึง 100% ดังตารางที่ 4.4
- 3) กำหนดให้ 0% เท่ากับซีโร และ 100% เท่ากับ สเปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) กำหนดให้  $60^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ ซีโร และ  $70^{\circ}\text{C}$  เท่ากับสเปน
- 5) ทำการปรับอุณหภูมิไปที่  $60^{\circ}\text{C}$  โวลต์มิเตอร์จะต้องอ่านได้ 1 โวลต์ หากไม่ได้เท่ากับ 1 โวลต์ ให้ทำการปรับซีโรซึ่งอยู่ที่อาร์ทีคิคอนเวอร์เตอร์ให้โวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่ากับ 1 โวลต์
- 6) ทำการปรับอุณหภูมิไปที่  $70^{\circ}\text{C}$  โวลต์มิเตอร์จะต้องอ่านได้ 5 โวลต์ หากไม่ได้เท่ากับ 5 โวลต์ ให้ทำการปรับสเปนซึ่งอยู่ที่อาร์ทีคิคอนเวอร์เตอร์ให้โวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่ากับ 5 โวลต์
- 7) ทำตามขั้นตอนที่ 5 จนกว่า ซีโรที่  $60^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 1 โวลต์และ สเปนที่  $70^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 5 โวลต์
- 8) ทำการเช็คการวัดของช่วงอุณหภูมิทุกๆ 10 % ตามตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.7 การนำชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีไปสอบเทียบอาร์ทีคิคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การสอบเทียบอาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์

ลำดับที่	รายการ	โวลต์	ปรับซีโร	ปรับสเปน
1	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1.5	1	-
2	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5.5	-	5
3	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1.3	1	-
4	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5.3	-	5
5	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1.2	1	-
6	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5.13	-	5
7	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1	-	-
8	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5	-	-
9	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1	-	-
10	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5	-	-
11	ปรับอุณหภูมิไปที่ 60°C	1	-	-
12	ปรับอุณหภูมิไปที่ 61°C	1.4	-	-
13	ปรับอุณหภูมิไปที่ 62°C	1.8	-	-
14	ปรับอุณหภูมิไปที่ 63°C	2.2	-	-
15	ปรับอุณหภูมิไปที่ 64°C	2.6	-	-
16	ปรับอุณหภูมิไปที่ 65°C	3	-	-
17	ปรับอุณหภูมิไปที่ 66°C	3.4	-	-
18	ปรับอุณหภูมิไปที่ 67°C	3.8	-	-
19	ปรับอุณหภูมิไปที่ 68°C	4.2	-	-
20	ปรับอุณหภูมิไปที่ 69°C	4.6	-	-
21	ปรับอุณหภูมิไปที่ 70°C	5	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.5 มาตรฐานการคอนโทรล

เปอร์เซ็นต์	โวลต์
0	1
10	1.4
20	1.8
30	2.2
40	2.6
50	3
60	3.4
70	3.8
80	4.2
90	4.6
100	5

#### 4.5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อปรับอุณหภูมิไปที่  $60^{\circ}\text{C}$  โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 1 โวลต์ เมื่อปรับอุณหภูมิไปที่  $70^{\circ}\text{C}$  โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 5 โวลต์และเมื่อปรับอุณหภูมิไปทุกๆ 10% จะได้ค่าตามตารางการทดลองและเมื่อนำค่าจากตารางการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตารางมาตรฐานปรากฏว่าข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์กันจึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีนี้ เป็นชุดสอบเทียบที่สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 150°C โดยใช้การควบคุมแบบ พีไอดี คอนโทรลเลอร์ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการสามารถนำไปตรวจสอบ อาร์ทีดี และสอบเทียบ อาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์ได้ ค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$  ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี นี้ จะช่วยให้เข้าใจถึงหลักการการทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งเหมาะสำหรับนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมหรือสอบเทียบในงานต่าง ๆ ได้

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบ โครงการ พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา ไม่สามารถควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ ได้  
แนวทางแก้ไข เปลี่ยนวงจรควบคุมและอุปกรณ์ภายในใหม่
2. ปัญหา เกิดออฟเซตมากทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าเป้าหมาย  
แนวทางแก้ไข ทำ พีไอดีจูนนิ่ง เพื่อให้ได้ค่า พีไอดี ที่เหมาะสม
3. ปัญหา การลดอุณหภูมิภายในตัวชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีทำได้ช้า  
แนวทางแก้ไข เจาะรูระบายลมเพิ่มและเพิ่มพัดลมระบาย
4. ปัญหา มีสัญญาณรบกวนจากภายนอกทำให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเกิดความผิดพลาดในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล  
แนวทางแก้ไข สร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ที่มีพื้นที่กราวด์มากขึ้น
5. ปัญหา หน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89C51RD2HBP ไม่พอสำหรับการเก็บข้อมูล  
แนวทางแก้ไข เพิ่มหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีนี้สามารถสอบเทียบได้เฉพาะอาร์ทีดีเท่านั้นซึ่งควรพัฒนาให้สามารถสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลได้ด้วย
2. ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีนี้สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 150°C ซึ่งเป็นย่านอุณหภูมิที่แคบ จึงควรพัฒนาให้สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-750°C จะทำให้ย่านอุณหภูมิกว้างขึ้น
3. การกำหนดระยะเวลาการสอบเทียบชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี นั้นควรทำการสอบเทียบดูการผิพลาตเป็นระยะเวลา อย่างน้อย 3 เดือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2534 “การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

พยัพ พลแก้ว. 2534 “เอกสารประกอบการสอน CONTROLLER TUNING” วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์แบบเฟลชฉบับ AT89C5X ของ ATMEL” อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ก**  
**เครื่องต้นแบบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

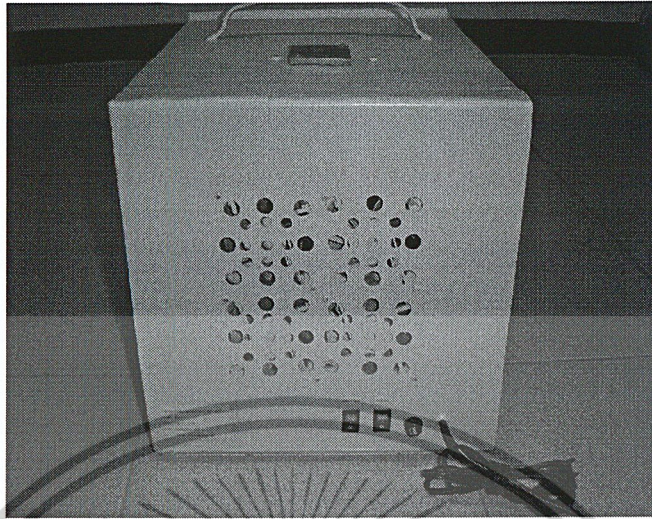


รูปที่ ก.1 ภาพด้านหน้าของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี



รูปที่ ก.2 ภาพด้านหลังของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



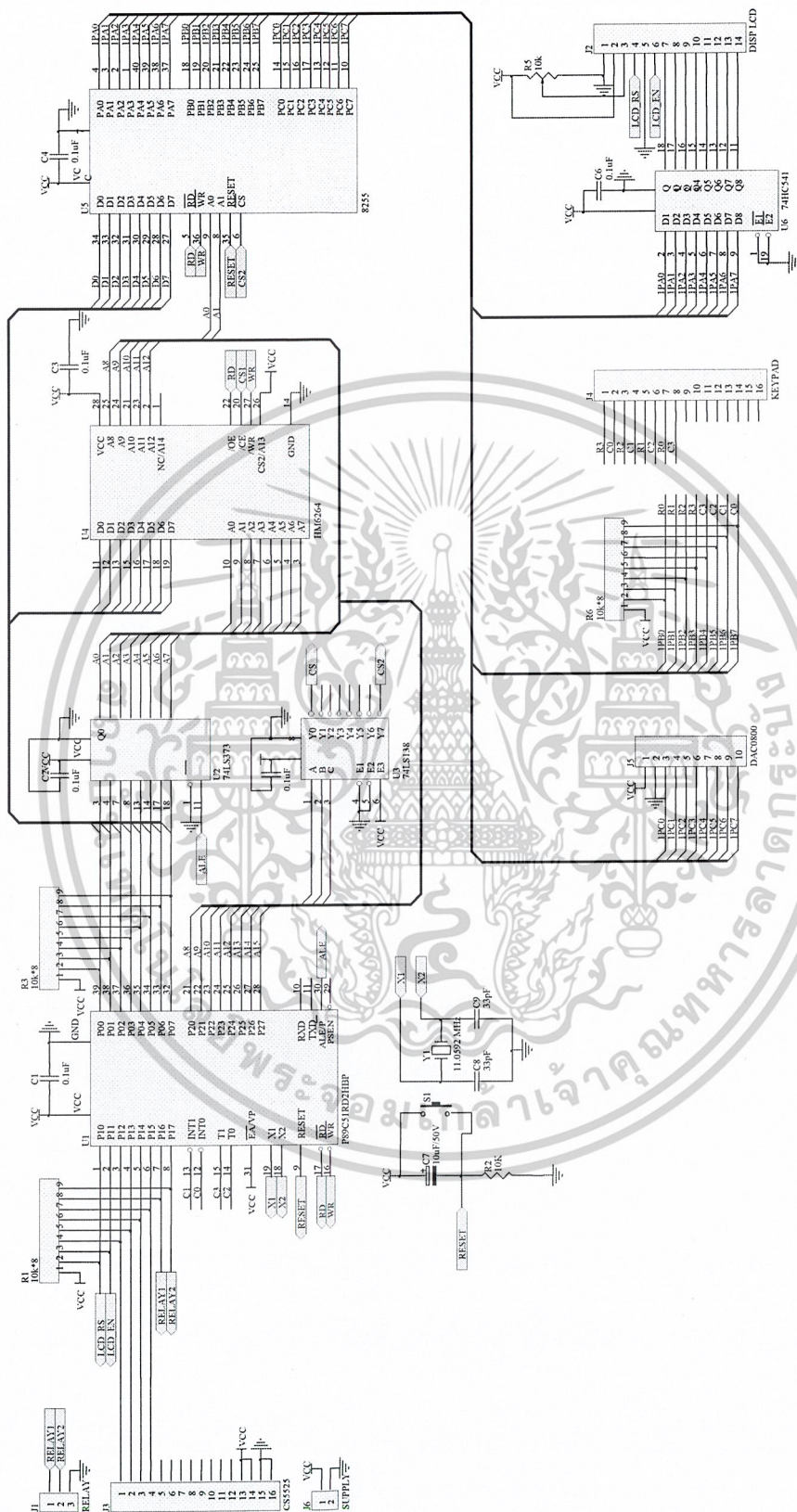
รูปที่ ก.3 ภาพด้านหลังของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

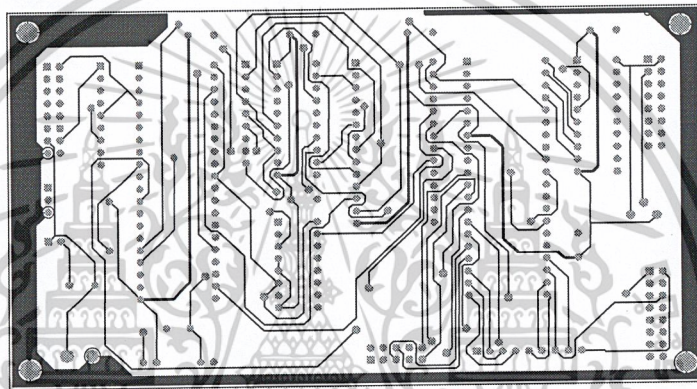
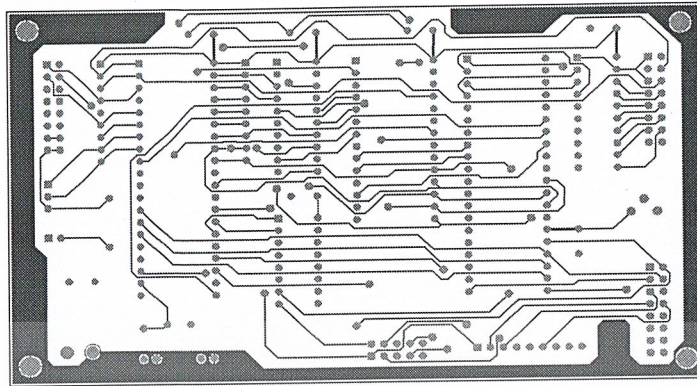


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

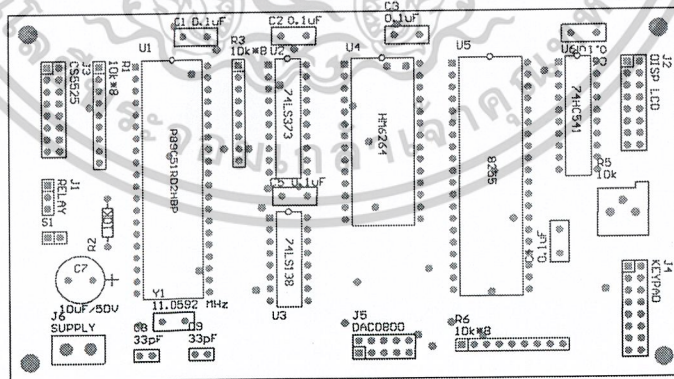


รูปที่ ข.1 วงจรคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

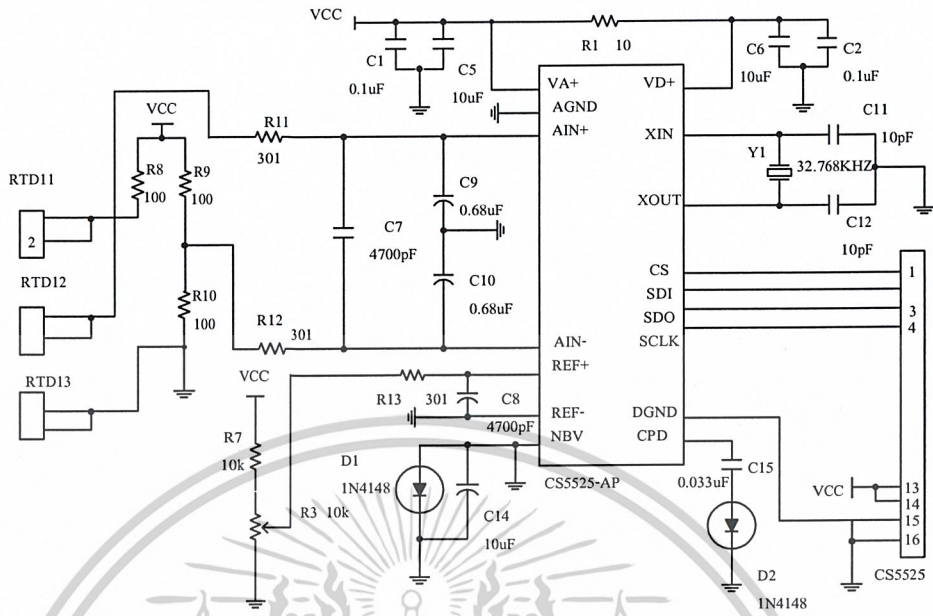


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรคอนโทรล

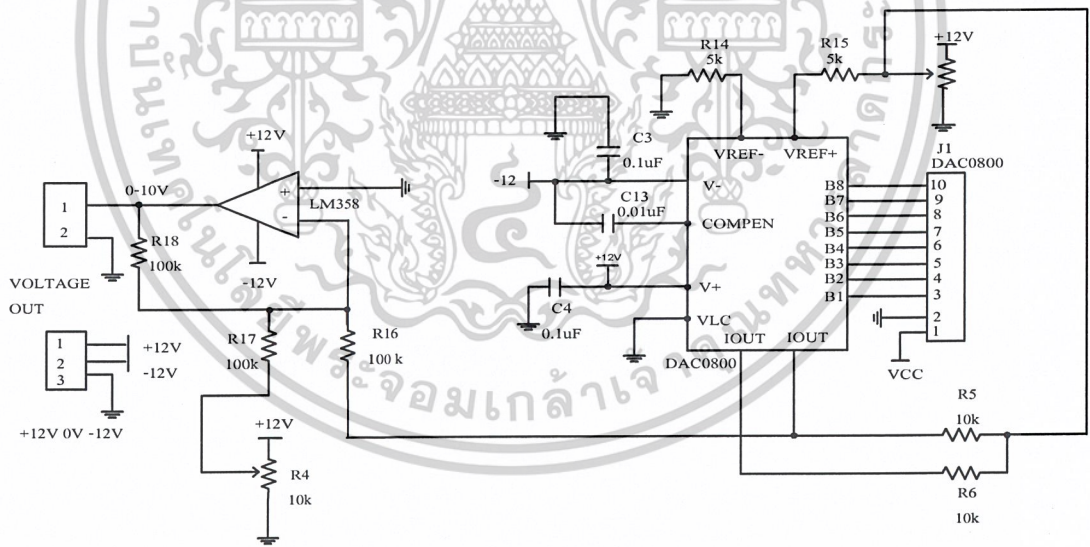


รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

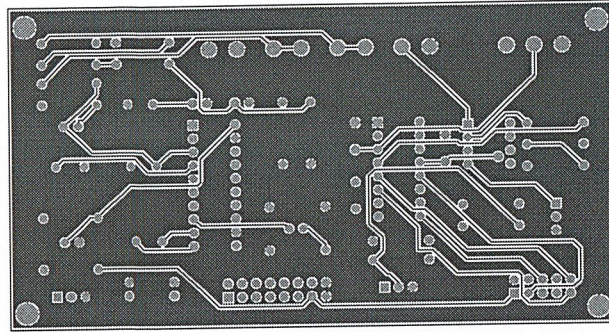


รูปที่ ข.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

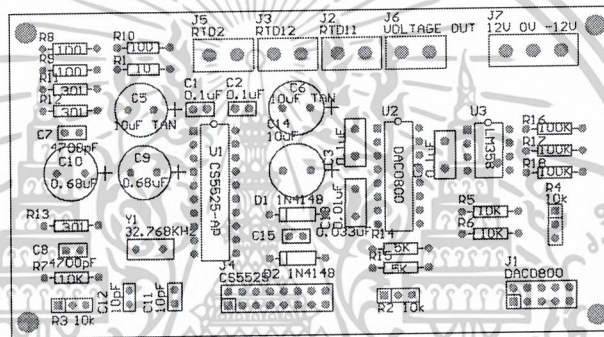


รูปที่ ข.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

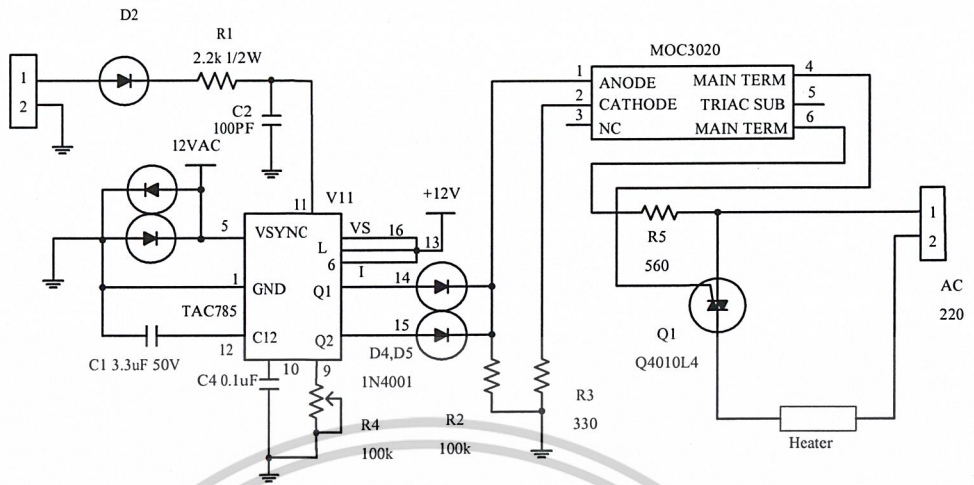


รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล  
และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

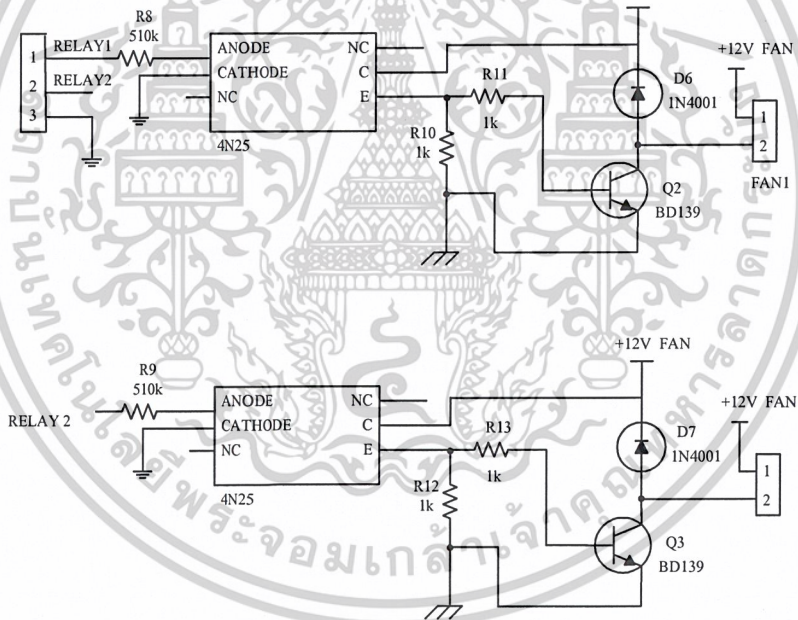


รูปที่ ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นพิมพ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล  
และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

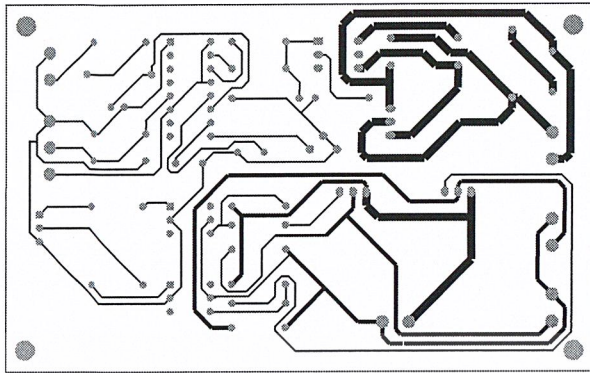


รูปที่ ข.8 วงจรควบคุมฮีตเตอร์

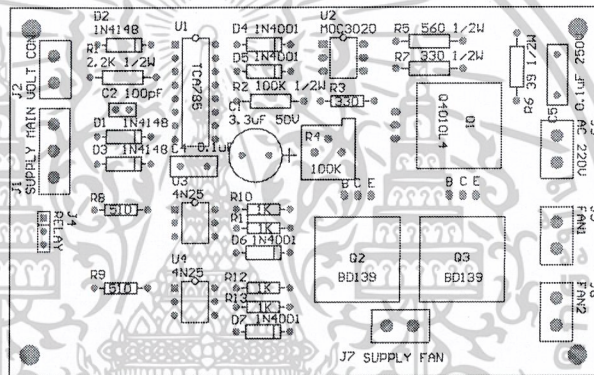


รูปที่ ข.9 วงจรควบคุมพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 แผ่นพิมพ์วงจรควบคุมฮีตเตอร์และวงจรถวลพัดลม



รูปที่ ข.11 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นพิมพ์วงจรควบคุมฮีตเตอร์และวงจรถวลพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรคอนโทรล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U1	P89C51RD2HBP MCS-51	1 ตัว
U2	74LS5373	1 ตัว
U3	74LS138	1 ตัว
U4	HM6264 RAM	1 ตัว
U5	8255	1 ตัว
U6	74HC541 บัฟเฟอร์	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1,C2,C3,C4,C5,C6	0.1 $\mu$ F 50V มัลติเลเยอร์	6 ตัว
C7	10 $\mu$ F 50V อิเล็กโตรไลติกส์	1 ตัว
C8,C9	33 pF เซรามิก	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1,R3,R6	10k $\Omega$ เน็ตเวิร์ค	3 ตัว
R2	10k $\Omega$ 1/4 w	1 ตัว
R5	10k $\Omega$ เกือกม้า	1 ตัว
อุปกรณ์อื่น ๆ		
Y1	คริสตอล 11.0592MHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
U1	CS5525 – AP A/D	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1,C2	0.1 $\mu$ F มัลติเทเลเซอร์	2 ตัว
C5,C6	10 $\mu$ F แทนทาลัม	2 ตัว
C7,C8	4700 pF เซรามิก	2 ตัว
C9,C10	0.68 $\mu$ F อิเล็กโทรไลติก	2 ตัว
C11,C12	10 pF เซรามิก	2 ตัว
C14	10 $\mu$ F อิเล็กโทรไลติก	1 ตัว
C15	0.03 $\mu$ F เซรามิก	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
D1,D2	1N4001	2 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	10 $\Omega$ 1/4 W	1 ตัว
R3,R7	10k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
R8,R9,R10	10 $\Omega$ 1/4 W	3 ตัว
R11,R12,R13	301 $\Omega$ 1/4 W	3 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่น ๆ</b>		
Y1	คริสตอล 32.768kHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U2	DAC0800 D/A	1 ตัว
U3A	ออฟแอมป์ LM358	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C3,C4	0.1 $\mu$ F มัลติเลเยอร์	2 ตัว
C13	0.0 $\mu$ F WIMA	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R2,R4	10k $\Omega$	2 ตัว
R5,R6	10k $\Omega$ 1/4W	2 ตัว
R14,R15	5k $\Omega$ 1/4W	2 ตัว
R16,R17,R18	100k $\Omega$ 1/4W	3 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมฮีสเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U1	PCA785	1 ตัว
U2	ออฟโด้ไดแอค MOC3020	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมฮีสเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	3.3 $\mu$ F 50V	1 ตัว
C2	100pF เซรามิก	1 ตัว
C4	0.1 $\mu$ F โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C5	0.1 $\mu$ F 250 V	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	2.2 k $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
R2	100 k $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
R3	330 $\Omega$ 1/4 W	1 ตัว
R4	100 k $\Omega$ เกือกม้า	1 ตัว
R5	560 $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
R6	39 $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
R7	330 $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
D1,D2,D3	1N4148	3 ตัว
D4,D5	1N4001	2 ตัว
Q1	Q4010L4	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

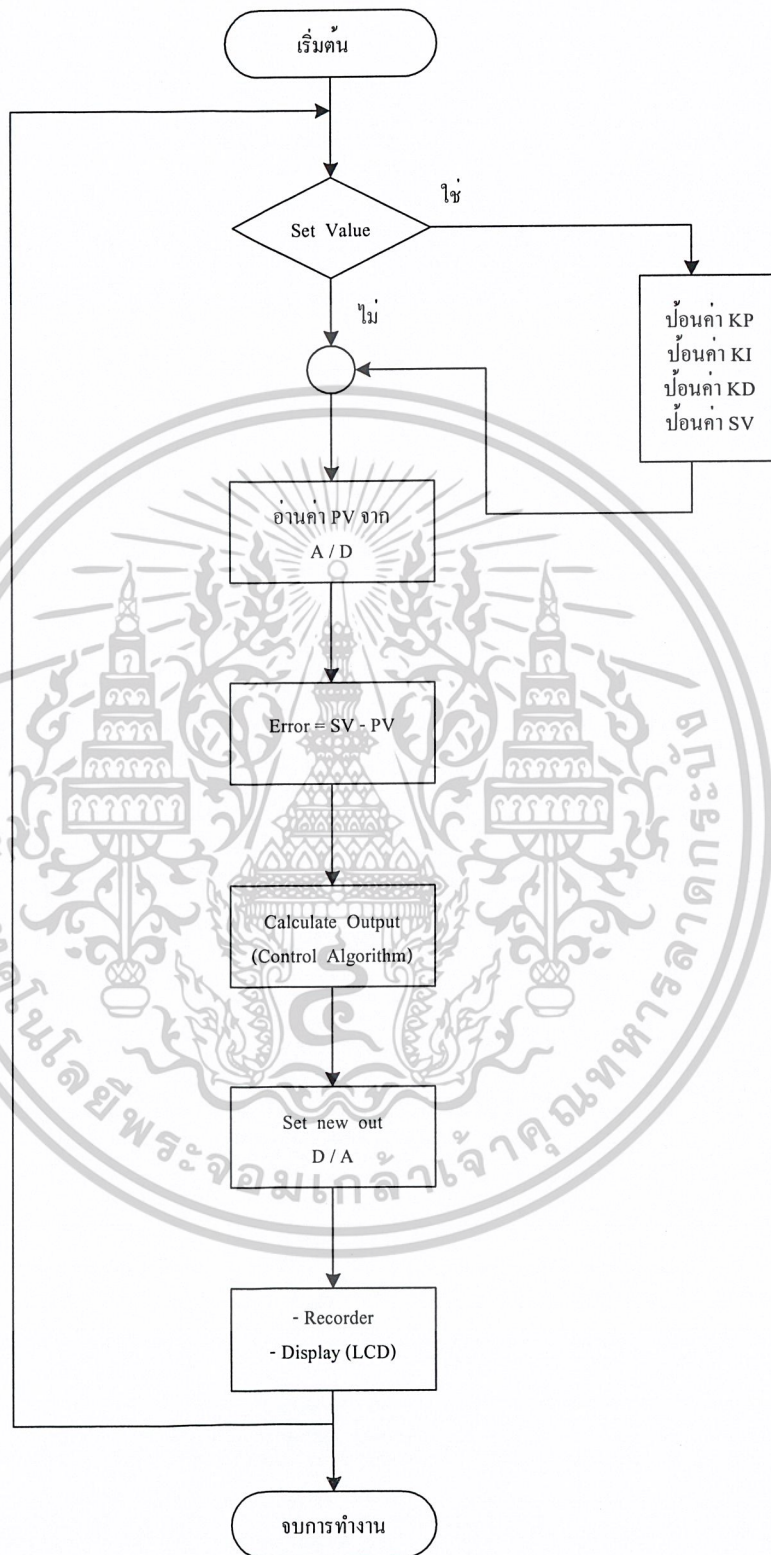
ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมพัลลวม

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม U3,U4	4N25	2 ตัว
ตัวความต้านทาน R8,R9 R10,R11,R12,R13	510 $\Omega$ 1/4 W 1 k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว 6 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ D6,D7 Q2,Q3	1N4001 BD139	2 ตัว 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ฟังงาน โปรแกรมชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงาน

```

#include <reg51RD2.h>
#include <absacc.h>
#include <ctype.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#include "Lcd1.h"
#include "CS5525.h"
#include "KeyPAD.h"
#include "TempTB.h"

sbit Fan1=P1^6;
sbit Fan2=P1^7;

unsigned char data LCDBUF[16];
unsigned char data ASCBUF[9];
unsigned char *StrBUF;
unsigned char Key;
float xdata l;
float xdata Data,S0,S1,E0,E1,V0,A1,A2,A3,sv,kp,ki,kd;
float xdata Amp,Volt_PV,Sum1;
int i,n;
long Show;

float KeyValue(int Select);
void PID_Algorithm(float SV,float PV,float Kp,float Ki,float
Kd,float T);

float KeyValue(int Select)
{
    int xdata Dot,Count,CountDot;
    float xdata Sum0,Sum1,Sum2,Sum3,Value;

    Dot=0;
    Count=1;
    CountDot=1;
    Sum0=0;
    Sum1=0;
    Sum2=0;
    Sum3=0;

    if(Select==1) Sum1=sv;
    else if(Select==2) Sum1=kp;
    else if(Select==3) Sum1=ki;
    else if(Select==4) Sum1=kd;

while(Key!=13{    Value=Sum1+Sum3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sprintf(ASCBUF,"%0.4f",Value);
    strncpy(LCDBUF,ASCBUF,16);
    display_LCD(0x05,LCDBUF);

    Key=ScanKey();
    if(Key!=255)
    {
        dtime(1000);

        if(Key!=14)
        {
            if(Count==1)
            {
                Sum0=1*Key;
                Sum1=Sum0;
            }
            if(Count==2)
            {
                Sum0=(Sum1*10)+Key;
                Sum1=Sum0;
            }
            if(Count==3)
            {
                Sum0=(Sum1*10)+Key;
                Sum1=Sum0;
            }
            if(Count==4)
            {
                Sum0=(Sum1*10)+Key;
                Sum1=Sum0;
            }
            Count++;
        }
        else
        {
            while(Key!=13)
            {
                Value=Sum1+Sum3;

                sprintf(ASCBUF,"%0.4f",Value);
                strncpy(LCDBUF,ASCBUF,16);
                display_LCD(0x05,LCDBUF);

                Key=ScanKey();
                if(Key!=255)
                {
                    dtime(1000);

                    if(Key!=14)
                    {
                        {
                            Sum2=0.1*Key;
                            Sum3=Sum2;
                        }
                    }
                    if(CountDot==2)
                    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Sum2=Sum3+(Key*0.01);
Sum3=Sum2;
}
if (CountDot==3)
{
Sum2=Sum3+(Key*0.001);

Sum3=Sum2;
}
if (CountDot==4)
{

Sum2=Sum3+(Key*0.0001);
Sum3=Sum2;
}
CountDot++;
}
}
}
}
return(Value);
}

void PID_Algorithm(float SV,float PV,float Kp,float Ki,float
Kd,float T)
{
S0 = 0;
E0 = 0;

dtime(T);

//Calculate A1,A2 and A3.
A1 = Kp;
A2 = Ki * (T/1000);
A3 = Kd / (T/1000);

E0 = SV - PV; //Calculate Error.

S0 = (A2 * E0) + S1;
V0 = (A1 * E0) + S0 + (A3 * (E0 - E1));
S1 = S0;
E1 = E0;

i=(int) ((V0*255)/150);

if(i>255)
{
i = 255;
S1 = 0;
E1 = 0;
}

if(i<0)
{
i = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจากนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

S1 = 0;

    E1 = 0;
}

if(E0<0.30)
{
    Fan1=1;
    Fan2=1;
}

else
{
    Fan1=0;
    Fan2=0;
}

PORT_C=255-i;
}

void main(void)
{
    //Amp=1.257021199;
    Fan1=0;
    Fan2=0;

    for(i=0;i<=100;i++)
    {
        PORT_CON=0x82;
        dtime(1);
    }

    Table();
    Init_LCD();
    LCD_CLR();

    Init_CS5525();

    for(i=0; i<5000; i++); /* Delay */

    S0=0;
    E0=0;

    sv=40;
    kp=1;
    ki=0;
    kd=0;

    while(1)
    {
        Key=ScanKey();

        if(Key!=255)
        {
            dtime(1000);

            if(Key==10)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        LCD_CLR();
while (Key!=11)
    {
        strncpy(LCDBUF,"1 = SV , 2 = Kp ",16);
        display_LCD(0x00,LCDBUF);

        strncpy(LCDBUF,"3 = Ki , 4 = Kd ",16);
        display_LCD(0x40,LCDBUF);

        Key=ScanKey();

if (Key!=255)
    {
        dtimer(1000);

        if (Key==1)
            {
                LCD_CLR();

                strncpy(LCDBUF,"SV =          ",16);
                display_LCD(0x00,LCDBUF);

                sv=KeyValue(1);

                LCD_CLR();
            }
            else if (Key==2)
                {
                    LCD_CLR();

                    strncpy(LCDBUF,"Kp =          ",16);
                    display_LCD(0x00,LCDBUF);

                    kp=KeyValue(2);

                    LCD_CLR();
                }
                else if (Key==3)
                    {
                        LCD_CLR();

                        strncpy(LCDBUF,"Ki =          ",16);
                        display_LCD(0x00,LCDBUF);

                        ki=KeyValue(3);

                        LCD_CLR();
                    }
                    else if (Key==4)
                        {
                            LCD_CLR();

                            strncpy(LCDBUF,"Kd =          ",16);
                            display_LCD(0x00,LCDBUF);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

kd=KeyValue(4);

LCD_CLR();
}
}
LCD_CLR();
}
else if(Key==2)
{
Fan1=0;
Fan2=0;
}
}

l = ReadConv();

strncpy(LCDBUF,"SV = ",16);
display_LCD(0x00,LCDBUF);

strncpy(LCDBUF,"PV = ",16);
display_LCD(0x40,LCDBUF);

Volt_PV=(1/65535)*(-1);

Sum1=((Volt_PV-((100*4.96)/(100+100)))/4.96)*(-1);
Ohm_PV=(Sum1*100)/(1-Sum1);

for(n=0;n<=150;n++)
{
if((Ohm_PV>=Temp_Cal[n])&&(Ohm_PV<=Temp_Cal[n+1]))
{
Temp_PV=(n+1)-(1/(Temp_Cal[n+1]-Temp_Cal[n]))*(Temp_Cal[n+1]-
Ohm_PV));
break;
}
}

PID_Algorithm(sv,Temp_PV,kp,ki,kd,100);

sprintf(ASCBUF,"%0.2f",sv);
strncpy(LCDBUF,ASCBUF,16);
display_LCD(0x05,LCDBUF);

//Data=40;

sprintf(ASCBUF,"%0.2f",Temp_PV);
strncpy(LCDBUF,ASCBUF,16);
display_LCD(0x45,LCDBUF);

/*Show=1;
sprintf(ASCBUF,"%05ld",Show);
strncpy(LCDBUF,ASCBUF,16);
display_LCD(0x08,LCDBUF);*/
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงาน CS5525

```

#define OSET_RD      0x90    /* Offset  read command */
#define GAIN_RD      0x92    /* Gain    read command */
#define CONF_RD      0x94    /* Config  read command */
#define CONV_RD      0x96    /* Data    read command */
#define SETU_RD      0x98    /* Setup   read command */

#define OSET_WR      0x80    /* Offset  Write command */
#define GAIN_WR      0x82    /* Gain    Write command */
#define CONF_WR      0x84    /* Config  Write command */
#define CONV_WR      0x86    /* Data    Write command */
#define SETU_WR      0x88    /* Setup   Write command */

sbit CS   = P1^2;    /* Chip Select          */
sbit SDI  = P1^3;    /* Transfer data from CPU to ADC */
sbit SDO  = P1^4;    /* Transfer data from ADC to CPU */
sbit SCLK = P1^5;    /* Shifting data to or from ADC */

/* Function declaration */
void Init_CS5525(void);
unsigned long ReadConv(void);
void WriteReg(unsigned char comm,high,mid,low);
void ReadReg(unsigned char comm);
void WriteByte(unsigned char dat);
unsigned char ReadByte(void);

/* Global variable declaration */
unsigned char data HIGH,MID,LOW,TEMP;
unsigned char data DISBUF[8];

void Init_CS5525(void)
{
    unsigned int count;

    CS   = 0;
    SCLK = 0;
    SDO  = 0;
    SDI  = 0;
    for(count=0; count<2047; count++) {
        SCLK = 1;                /* Assert SCLK */
        SCLK = 0;                /* Deassert   */
    }
    SDI = 1;                    /* Assert SDI */
    for(count=0; count<255; count++) {
        SCLK = 1;                /* Assert SCLK */
        SCLK = 0;                /* Deassert   */
    }

    SDI = 0;
    SCLK = 1;
    SCLK = 0;

    WriteReg(CONF_WR, 0x00, 0x00, 0x80); /* Reset */
    WriteReg(CONF_WR, 0x00, 0x08, 0x00); /* Initialize configuration */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ReadReg(CONF_RD);          /* Read configuration reg */
ReadReg(OSET_RD);         /* Read offset reg */
    ReadReg(GAIN_RD);     /* Read gain reg */
}
/* Read data conversion */
unsigned long ReadConv(void)
{
    unsigned long l;
    WriteReg(CONF_WR, 0x00, 0x16, 0x00);
    WriteByte(0xc0);
    do {
        ReadReg(CONF_RD); /* Read Configuration Register */
    }
    while(!(LOW & 0x08));
    ReadReg(CONV_RD);
    l = HIGH;
    l <<= 8;
    l |= MID;
    l <<= 8;
    l |= LOW;
    l >>= 8; /* if use CS5526 l >>= 4; */
    return(l);
}

/* Write register 3 bytes */
void WriteReg(unsigned char comm, high, mid, low)
{
    WriteByte(comm);
    WriteByte(high);
    WriteByte(mid);
    WriteByte(low);
}

/* Read register 3 bytes */
void ReadReg(unsigned char comm)
{
    WriteByte(comm);
    HIGH = ReadByte();
    MID = ReadByte();
    LOW = ReadByte();
}

/* Write single byte */
void WriteByte(unsigned char dat)
{
    unsigned char clock;
    for(clock=0; clock<8; clock++)
    {
        SDI = (dat & 0x80);
        dat = (dat << 1);
        SCLK = 1;
        SCLK = 0;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
SDI = 0;
}

/* Read single byte */
unsigned char ReadByte(void)
{
unsigned char clock, dat;
dat = 0;
for(clock=0; clock<8; clock++)
{
    dat = (dat << 1);
    dat = (dat | SDO);
SCLK = 1;
SCLK = 0;
}
return(dat);
}

```

## โปรแกรมควบคุมการทำงาน keypad

```

/*keypad*/

sbit C0=P3^2;
sbit C1=P3^3;
sbit C2=P3^4;
sbit C3=P3^5;

#define PORT_B XBYTE[0x0E001]

unsigned char data KeyData,KeyBuffer;

unsigned char ScanKey();

unsigned char ScanKey()
{
KeyData=255;

C0=1;
C1=1;
C2=1;
C3=1;

C0=0;
KeyBuffer=PORT_B;
switch(KeyBuffer)
{
    case 0x7E: KeyData=1; break;
    case 0x7D: KeyData=4; break;
    case 0x7B: KeyData=7; break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 0x77: KeyData=14; break;
}

C0=1;
C1=0;
KeyBuffer=PORT_B;
switch(KeyBuffer)
{
    case 0xBE: KeyData=2; break;
    case 0xBD: KeyData=5; break;
    case 0xBB: KeyData=8; break;
    case 0xB7: KeyData=0; break;
}

C1=1;
C2=0;
KeyBuffer=PORT_B;
switch(KeyBuffer)
{
    case 0xDE: KeyData=3; break;
    case 0xDD: KeyData=6; break;
    case 0xDB: KeyData=9; break;
    case 0xD7: KeyData=15; break;
}

C2=1;
C3=0;
KeyBuffer=PORT_B;
switch(KeyBuffer)
{
    case 0xEE: KeyData=10; break;
    case 0xED: KeyData=11; break;
    case 0xEB: KeyData=12; break;
    case 0xE7: KeyData=13; break;
}

C3=1;
return(KeyData);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงานของ LCD

```

sbit LCD_RS=P1^0;
sbit LCD_EN=P1^1;

#define PORT_A XBYTE[0x0E000]
#define PORT_C XBYTE[0x0E002]
#define PORT_CON XBYTE[0x0E003]

void Init_LCD();
void LCD_CLR();
void LCD_HOME();
void LCD_OFF();
void LCD_CLK();
void LCD_ON();
void SET_ADDR_LCD(unsigned char lcd_addr);
void WRCHAR_LCD(unsigned char lcd_data);
void display_LCD(unsigned char addr,unsigned char *str);

void dmsec(unsigned char count);
void dtime(unsigned long ms);

void dmsec(unsigned char count)
{
    unsigned char i;
    while(count)
    {
        for(i=1;i<=113;i++)
            count--;
    }
}

void dtime(unsigned long ms)
{
    unsigned long x;
    for(x=0;x<ms;x++)
    {
        TH0=0xF8; /*11.0592 MHz, 6 Clock*/
        TL0=0xCC;
        TF0=0;
        TR0=1;
        while(TF0==0);
        TR0=0;
    }
}

void Init_LCD()
{
    dtime(100);
    LCD_RS=0;

    PORT_A=0x38;
    LCD_CLK();
    dtime(10);
    PORT_A=0x38;
    LCD_CLK();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCD_OFF();
        LCD_CLR();
        PORT_A=0x06;
        LCD_CLK();
        LCD_HOME();
    }
    void LCD_CLR()
    {
        LCD_RS=0;
        PORT_A=0x01;
        LCD_CLK();
    }
    void LCD_HOME()
    {
        LCD_RS=0;
        PORT_A=0x02;
        LCD_CLK();
    }

    void LCD_OFF()
    {
        LCD_RS=0;
        PORT_A=0x08;
        LCD_CLK();
    }
    void LCD_CLK()
    {
        LCD_EN=1;
        dtime(2);
        LCD_EN=0;
        dtime(2);
    }
    void LCD_ON()
    {
        LCD_RS=0;
        PORT_A=0x0C;
        LCD_CLK();
    }
    void SET_ADDR_LCD(unsigned char lcd_addr)
    {
        LCD_RS=0;
        PORT_A=(lcd_addr|0x80);
        LCD_CLK();
    }
    void WRCHAR_LCD(unsigned char lcd_data)
    {
        LCD_RS=1;
        PORT_A=lcd_data;
        LCD_CLK();
        LCD_ON();
    }
    void display_LCD(unsigned char addr,unsigned char *str)
    {
        unsigned char i,count;
        count=strlen(str);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงานของอุณหภูมิ

```

float xdata Temp_Cal[151];
float xdata Temp_PV,Ohm_PV;

void Table(void);

void Table(void)
{
    Temp_Cal[0]=100.00;
    Temp_Cal[1]=100.39;
    Temp_Cal[2]=100.78;
    Temp_Cal[3]=101.17;
    Temp_Cal[4]=101.56;
    Temp_Cal[5]=101.95;
    Temp_Cal[6]=102.34;
    Temp_Cal[7]=102.73;
    Temp_Cal[8]=103.12;
    Temp_Cal[9]=103.51;
    Temp_Cal[10]=103.90;
    Temp_Cal[11]=104.29;
    Temp_Cal[12]=104.68;
    Temp_Cal[13]=105.07;
    Temp_Cal[14]=105.46;
    Temp_Cal[15]=105.85;
    Temp_Cal[16]=106.24;
    Temp_Cal[17]=106.63;
    Temp_Cal[18]=107.02;
    Temp_Cal[19]=107.40;
    Temp_Cal[20]=107.79;
    Temp_Cal[21]=108.18;
    Temp_Cal[22]=108.57;
    Temp_Cal[23]=108.96;
    Temp_Cal[24]=109.35;
    Temp_Cal[25]=109.73;
    Temp_Cal[26]=110.12;
    Temp_Cal[27]=110.51;
    Temp_Cal[28]=110.90;
    Temp_Cal[29]=111.28;
    Temp_Cal[30]=111.67;
    Temp_Cal[31]=112.06;
    Temp_Cal[32]=112.45;
    Temp_Cal[33]=112.83;
    Temp_Cal[34]=113.22;
    Temp_Cal[35]=113.61;
    Temp_Cal[36]=113.99;
    Temp_Cal[37]=114.38;
    Temp_Cal[38]=114.77;
    Temp_Cal[39]=115.15;
    Temp_Cal[40]=115.54;
    Temp_Cal[41]=115.93;
    Temp_Cal[42]=116.31;
    Temp_Cal[43]=116.70;
    Temp_Cal[44]=117.08;
    Temp_Cal[45]=117.47;
    Temp_Cal[46]=117.85;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Temp_Cal[47]=118.24;
Temp_Cal[48]=118.62;
Temp_Cal[49]=119.01;
Temp_Cal[50]=119.40;
Temp_Cal[51]=119.78;
Temp_Cal[52]=120.16;
Temp_Cal[53]=120.55;
Temp_Cal[54]=120.93;
Temp_Cal[55]=121.32;
Temp_Cal[56]=121.70;
Temp_Cal[57]=122.09;
Temp_Cal[58]=122.47;
Temp_Cal[59]=122.86;
Temp_Cal[60]=123.24;
Temp_Cal[61]=123.62;
Temp_Cal[62]=124.01;
Temp_Cal[63]=124.39;
Temp_Cal[64]=124.77;
Temp_Cal[65]=125.16;
Temp_Cal[66]=125.54;
Temp_Cal[67]=125.92;
Temp_Cal[68]=126.31;
Temp_Cal[69]=126.69;
Temp_Cal[70]=127.07;
Temp_Cal[71]=127.45;
Temp_Cal[72]=127.84;
Temp_Cal[73]=128.22;
Temp_Cal[74]=128.60;
Temp_Cal[75]=128.98;
Temp_Cal[76]=129.37;
Temp_Cal[77]=129.75;
Temp_Cal[78]=130.13;
Temp_Cal[79]=130.51;
Temp_Cal[80]=130.89;
Temp_Cal[81]=131.27;
Temp_Cal[82]=131.66;
Temp_Cal[83]=132.04;
Temp_Cal[84]=132.42;
Temp_Cal[85]=132.80;
Temp_Cal[86]=133.18;
Temp_Cal[87]=133.56;
Temp_Cal[88]=133.94;
Temp_Cal[89]=134.32;
Temp_Cal[90]=134.70;
Temp_Cal[91]=135.08;
Temp_Cal[92]=135.46;
Temp_Cal[93]=135.84;
Temp_Cal[94]=136.22;
Temp_Cal[95]=136.60;
Temp_Cal[96]=136.98;
Temp_Cal[97]=137.36;
Temp_Cal[98]=137.74;
Temp_Cal[99]=138.12;
Temp_Cal[100]=138.50;
Temp_Cal[101]=138.88;
Temp_Cal[102]=139.26;
Temp_Cal[103]=139.64;
Temp_Cal[104]=140.02;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Temp_Cal[105]=140.39;
Temp_Cal[106]=140.77;
Temp_Cal[107]=141.15;
Temp_Cal[108]=141.53;
Temp_Cal[109]=141.91;
Temp_Cal[110]=142.29;
Temp_Cal[111]=142.66;
Temp_Cal[112]=143.04;
Temp_Cal[113]=143.42;
Temp_Cal[114]=143.80;
Temp_Cal[115]=144.17;
Temp_Cal[116]=144.55;
Temp_Cal[117]=144.93;
Temp_Cal[118]=145.31;
Temp_Cal[119]=145.68;
Temp_Cal[120]=146.06;
Temp_Cal[121]=146.44;
Temp_Cal[122]=146.81;
Temp_Cal[123]=147.19;
Temp_Cal[124]=147.57;
Temp_Cal[125]=147.94;
Temp_Cal[126]=148.32;
Temp_Cal[127]=148.70;
Temp_Cal[128]=149.07;
Temp_Cal[129]=149.45;
Temp_Cal[130]=149.82;
Temp_Cal[131]=150.20;
Temp_Cal[132]=150.57;
Temp_Cal[133]=150.95;
Temp_Cal[134]=151.33;
Temp_Cal[135]=151.70;
Temp_Cal[136]=152.08;
Temp_Cal[137]=152.45;
Temp_Cal[138]=152.83;
Temp_Cal[139]=153.20;
Temp_Cal[140]=153.58;
Temp_Cal[141]=153.95;
Temp_Cal[142]=154.32;
Temp_Cal[143]=154.70;
Temp_Cal[144]=155.07;
Temp_Cal[145]=155.45;
Temp_Cal[146]=155.82;
Temp_Cal[147]=156.19;
Temp_Cal[148]=156.57;
Temp_Cal[149]=156.94;
Temp_Cal[150]=157.31;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก จ**  
**คู่มือการใช้งาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งาน ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี



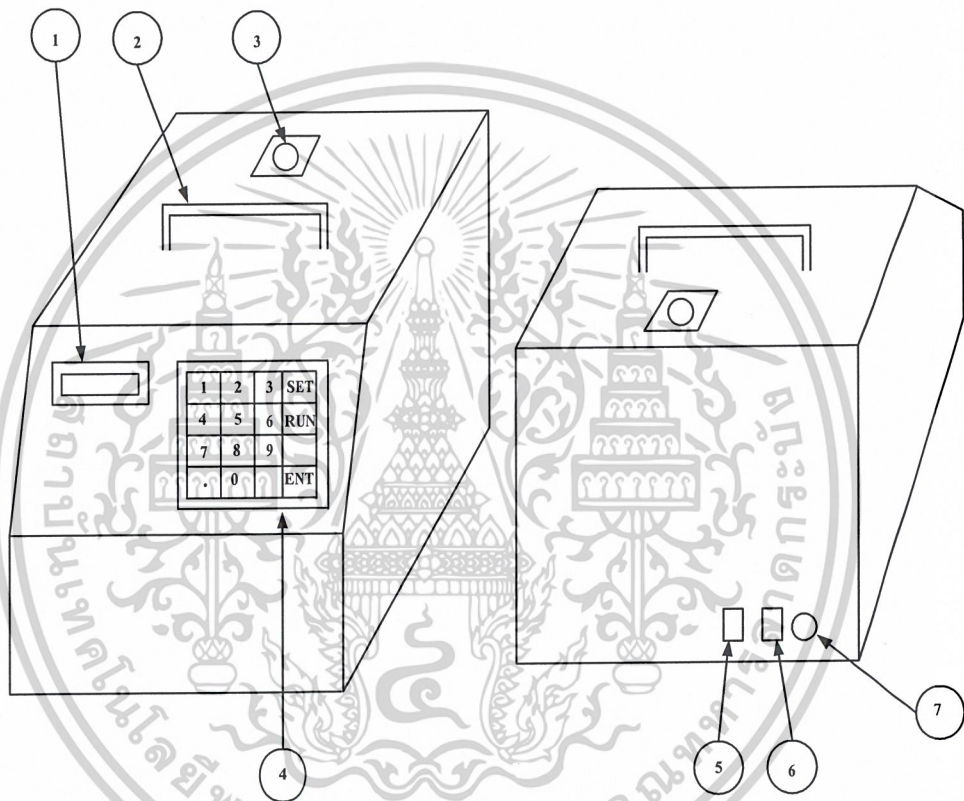
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งาน ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี ควรศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อให้การสอบเทียบอุณหภูมิเป็นไปอย่างถูกต้อง

## 2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- 1 จอแอลซีดีแสดง ค่า SV และ PV
- 2 หูหิ้ว
- 3 ช่องสำหรับเสียบอาร์ทีดี
- 4 ปุ่มกดเลือกการตั้งค่าต่างๆ
- 5 สวิตช์ฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7 สวิตช์ปิด-เปิดเครื่อง
- 8 ฟิวส์

### 3. การติดตั้งและการใช้งาน

- 3.1 นำอาร์ทีดีที่ต้องการสอบเทียบมาเสียบที่ช่องสำหรับสอบเทียบพร้อมต่ออาร์ทีดีคอนเวอร์เตอร์
- 3.2 เปิดสวิตช์ของฮีตเตอร์ และสวิตช์ของเครื่อง หน้าจอแอลซีดีจะแสดง “SV PV”
- 3.3 ทำการใส่ค่า SV ที่เราต้องการ
- 3.4 ทำการใส่ค่า ของ PID ที่คำนวณได้ โดยกดปุ่ม SET เพื่อทำการเลือกการใส่ค่าของ P , I และ D หน้าจอแอลซีดีจะแสดง “1 = SV , 2 = Kp , 3 = Ki , 4 = Kd” โดยที่กำหนดให้  $K_p = P$  ,  $K_i = I$  ,  $K_d = D$  ตัวเลขด้านหน้าคือปุ่มเลือกการใส่ค่า เมื่อจะใส่ค่าของ  $K_p$  ให้กดปุ่มที่ 2 แล้วสามารถกดปุ่มตัวเลขเพื่อใส่ค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10,000 จากนั้นกดปุ่ม ENT ถ้าต้องการใส่ค่าของ  $K_i$  ให้กดปุ่มที่ 3 แล้วทำการกดปุ่มเพื่อใส่ค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10,000 จากนั้นกดปุ่ม ENT ถ้าต้องการใส่ค่าของ  $K_d$  ให้กดปุ่มที่ 4 แล้วทำการกดปุ่มเพื่อใส่ค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10,000 จากนั้นกดปุ่ม ENT เมื่อใส่ค่าครบแล้วให้กดปุ่ม RUN เพื่อกลับไปหน้าที่แสดงค่าของ SV และ PV
- 3.5 หากต้องการเปลี่ยนค่าของ PID ให้กดปุ่ม SET แล้วทำตามข้อที่ 3.4
- 3.6 เมื่อทำการสอบเทียบอุณหภูมิเสร็จแล้ว ให้ปิดสวิตช์สวิตช์ของฮีตเตอร์ และ สวิตช์ของเครื่องถอดปลั๊กและเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดี สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างดังนี้

อาการ	สาเหตุและ/วิธีแก้ไข
จอ แอลซีดี ไม่ติด กดคีย์สวิตช์ไม่ได้	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและฟิวส์
ชุดสอบเทียบไม่ทำงาน	ตรวจสอบสวิตช์แหล่งจ่ายด้านหลังเครื่อง
ฮีตเตอร์ไม่ทำงาน	ตรวจสอบสวิตช์แหล่งจ่ายของฮีตเตอร์ด้านหลังเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

### 5.1 การดูแลรักษา

- ก่อนการสอบเทียบทุกครั้งต้องอ่านวิธีการติดตั้งและใช้งานของชุดสอบเทียบอุณหภูมิทุกครั้ง
- เช็ดทำความสะอาดชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจทำให้ตัวเครื่องเป็นรอยเสียหายได้

### 5.2 ข้อควรระวัง

- ห้ามตั้งอุณหภูมิเกิน 150 องศาเซลเซียส
- ในการปรับค่า PID แต่ละตัวต้องไม่เกิน 0 ถึง 10, 000
- เมื่อไม่ทราบ วิธีการใช้งานของเครื่องให้อ่านวิธีการติดตั้งและใช้งานของ ชุดสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับอาร์ทีดีห้ามใช้งานโดยที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับชุดสอบเทียบอุณหภูมิโดยเด็ดขาด

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ย่านการสอบเทียบอุณหภูมิ	อุณหภูมิห้องถึง 150 องศาเซลเซียส
ส่วนแสดงผล	จอแสดงผลแบบแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ความสูง 2 เซนติเมตร
ความผิดพลาด	$\pm 0.5\%$
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 -60 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INTEGRATED CIRCUITS**

# DATA SHEET

For a complete data sheet, please also download:

- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications
- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information
- The IC06 74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines

## 74HC/HCT541

### Octal buffer/line driver; 3-state

Product specification  
File under Integrated Circuits, IC06

December 1990

Philips  
Semiconductors



# PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Octal buffer/line driver; 3-state

## 74HC/HCT541

## FEATURES

- Non-inverting outputs
- Output capability: bus driver
- $I_{CC}$  category: MSI

The 74HC/HCT541 are octal non-inverting buffer/line drivers with 3-state outputs. The 3-state outputs are controlled by the output enable inputs  $\overline{OE}_1$  and  $\overline{OE}_2$ . A HIGH on  $\overline{OE}_n$  causes the outputs to assume a high impedance OFF-state.

The "541" is identical to the "540" but has non-inverting outputs.

## GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT541 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

## QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V;  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ ;  $t_r = t_f = 6\text{ ns}$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
$t_{PHL} / t_{PLH}$	propagation delay $A_n$ to $Y_n$	$C_L = 15\text{ pF}$ ; $V_{CC} = 5\text{ V}$	10	12	ns
$C_I$	input capacitance		3.5	3.5	pF
$C_{PD}$	power dissipation capacitance per buffer	notes 1 and 2	37	39	pF

## Notes

1.  $C_{PD}$  is used to determine the dynamic power dissipation ( $P_D$  in  $\mu\text{W}$ ):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

$f_i$  = input frequency in MHz

$f_o$  = output frequency in MHz

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$  = sum of outputs

$C_L$  = output load capacitance in pF

$V_{CC}$  = supply voltage in V

2. For HC the condition is  $V_I = \text{GND to } V_{CC}$   
For HCT the condition is  $V_I = \text{GND to } V_{CC} - 1.5\text{ V}$

## ORDERING INFORMATION

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information".

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 19	$\overline{OE}_1, \overline{OE}_2$	output enable input (active LOW)
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	A <sub>0</sub> to A <sub>7</sub>	data inputs
10	GND	ground (0 V)
18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11	Y <sub>0</sub> to Y <sub>7</sub>	bus outputs
20	V <sub>CC</sub>	positive supply voltage

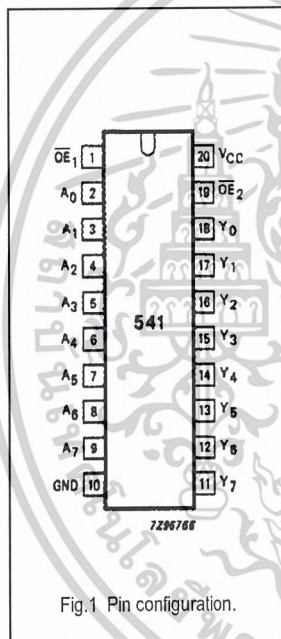


Fig.1 Pin configuration.

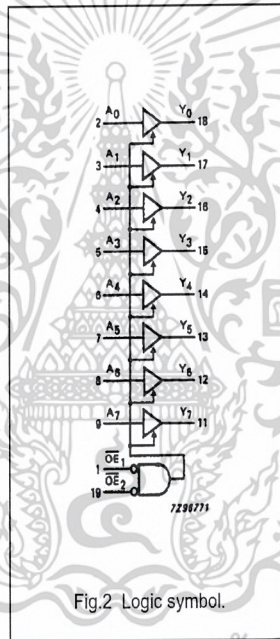


Fig.2 Logic symbol.

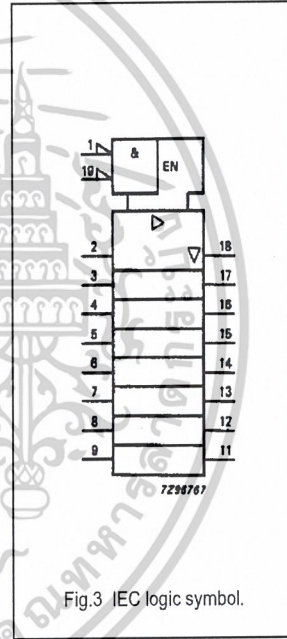


Fig.3 IEC logic symbol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

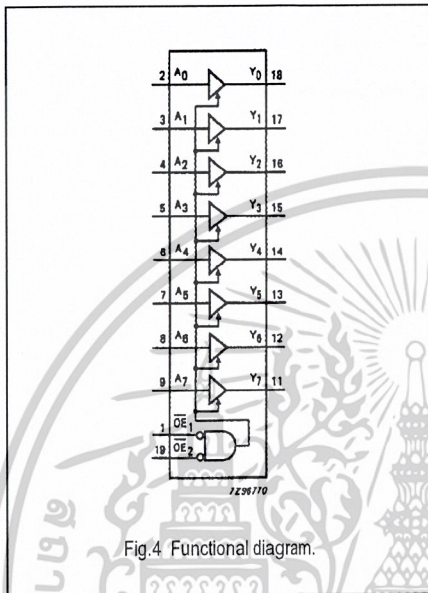


Fig.4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUT
$\overline{OE}_1$	$\overline{OE}_2$	$A_n$	$Y_n$
L	L	L	L
L	L	H	H
X	H	X	Z
H	X	X	Z

Notes

- 1. H = HIGH voltage level
- L = LOW voltage level
- X = don't care
- Z = high impedance OFF-state

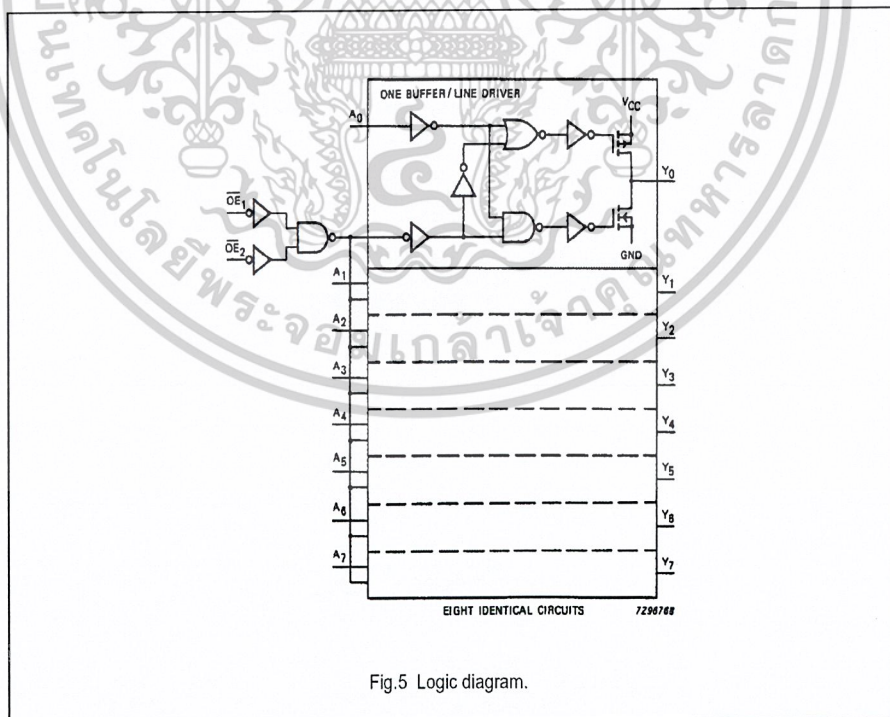


Fig.5 Logic diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

**DC CHARACTERISTICS FOR 74HC**

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: bus driver

I<sub>CC</sub> category: MSI**AC CHARACTERISTICS FOR 74HC**GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS		
		74HC							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS	
		+25			-40 to +85		-40 to +125				
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.
t <sub>PHL</sub> /t <sub>PLH</sub>	propagation delay A <sub>n</sub> to Y <sub>n</sub>	33	115	145	175	ns	2.0	Fig.6			
		12	23	29	35		4.5				
		10	20	25	30		6.0				
t <sub>PZH</sub> /t <sub>PZL</sub>	3-state output enable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	55	160	200	240	ns	2.0	Fig.7			
		20	32	40	48		4.5				
		16	27	34	41		6.0				
t <sub>PHZ</sub> /t <sub>PLZ</sub>	3-state output disable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	61	160	200	240	ns	2.0	Fig.7			
		22	32	40	48		4.5				
		18	27	34	41		6.0				
t <sub>THL</sub> /t <sub>TLH</sub>	output transition time	14	60	75	90	ns	2.0	Fig.6			
		5	12	15	18		4.5				
		4	10	13	15		6.0				

## Octal buffer/line driver; 3-state

## 74HC/HCT541

**DC CHARACTERISTICS FOR 74HCT**

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: bus driver

I<sub>CC</sub> category: MSI

**Note to HCT types**

The value of additional quiescent supply current ( $\Delta I_{CC}$ ) for a unit load of 1 is given in the family specifications. To determine  $\Delta I_{CC}$  per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
$\overline{OE}_1$	1.50
$\overline{OE}_2$	1.00
A <sub>n</sub>	0.70

**AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT**

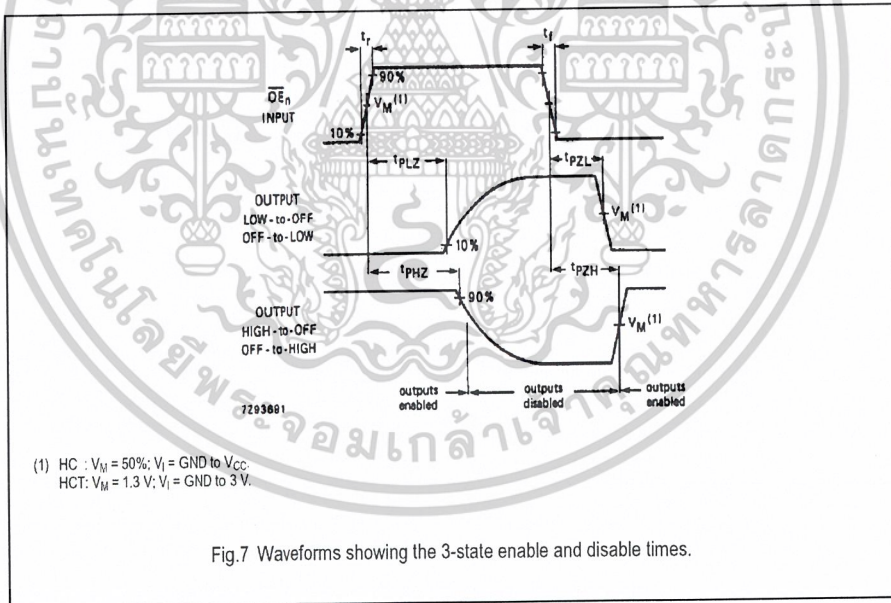
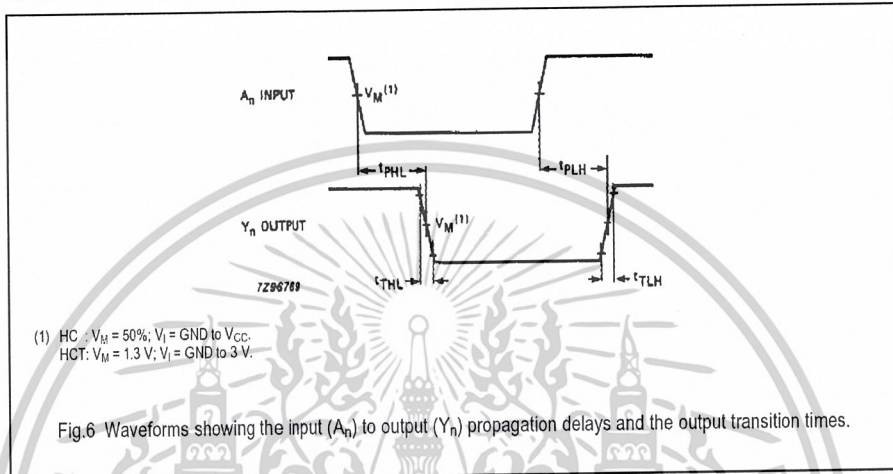
GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS		
		74HCT							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS	
		+25			-40 to +85		-40 to +125				
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay A <sub>n</sub> to Y <sub>n</sub>	15	28		35		42	ns	4.5 Fig.6		
t <sub>PZH</sub> / t <sub>PZL</sub>	3-state output enable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	21	35		44		53	ns	4.5 Fig.7		
t <sub>PHZ</sub> / t <sub>PLZ</sub>	3-state output disable time $\overline{OE}$ to Y <sub>n</sub>	21	35		44		53	ns	4.5 Fig.7		
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time	5	12		15		18	ns	4.5 Fig.6		

Octal buffer/line driver; 3-state

74HC/HCT541

AC WAVEFORMS



PACKAGE OUTLINES

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HM6264A Series

8192-word × 8-bit High Speed CMOS Static RAM

## Features

- Low-power standby
  - 0.1 mW (typ)
  - 10  $\mu$ W (typ) L-/LL-version
- Low power operation
  - 15 mW/MHz (typ)
- Fast access time
  - 100/120/150 ns (max)
- Single +5 V supply
- Completely static memory
  - No clock or timing strobe required
- Equal access and cycle time
- Common data input and output, three-state output
- Directly TTL compatible
  - All inputs and outputs
- Battery back up operation capability (L-/LL-version)

## Ordering Information

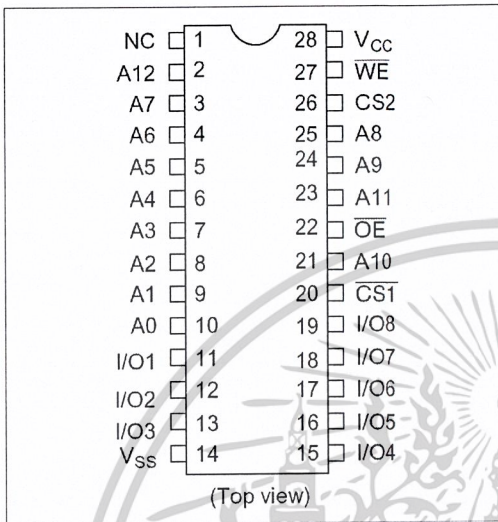
Type No.	Access time	Package
HM6264ASP-10	100 ns	300-mil, 28-pin plastic DIP (DP-28N)
HM6264ASP-12	120 ns	
HM6264ASP-15	150 ns	
HM6264ALSP-10	100 ns	28-pin plastic SOP *1 (FP-28D/DA)
HM6264ALSP-12	120 ns	
HM6264ALSP-15	150 ns	
HM6264ALSP-10L	100 ns	
HM6264ALSP-12L	120 ns	
HM6264ALSP-15L	150 ns	
HM6264AFP-10	100 ns	600-mil, 28-pin plastic DIP (DP-28)
HM6264AFP-12	120 ns	
HM6264AFP-15	150 ns	
HM6264ALFP-10	100 ns	
HM6264ALFP-12	120 ns	
HM6264ALFP-15	150 ns	
HM6264ALFP-10L	100 ns	
HM6264ALFP-12L	120 ns	
HM6264ALFP-15L	150 ns	
HM6264AP-10	100 ns	600-mil, 28-pin plastic DIP (DP-28)
HM6264AP-12	120 ns	
HM6264AP-15	150 ns	
HM6264ALP-10	100 ns	
HM6264ALP-12	120 ns	
HM6264ALP-15	150 ns	
HM6264ALP-10L	100 ns	
HM6264ALP-12L	120 ns	
HM6264ALP-15L	150 ns	

Note: 1. T is added to the end of the type number for a SOP of 3.00 mm (max) thickness.

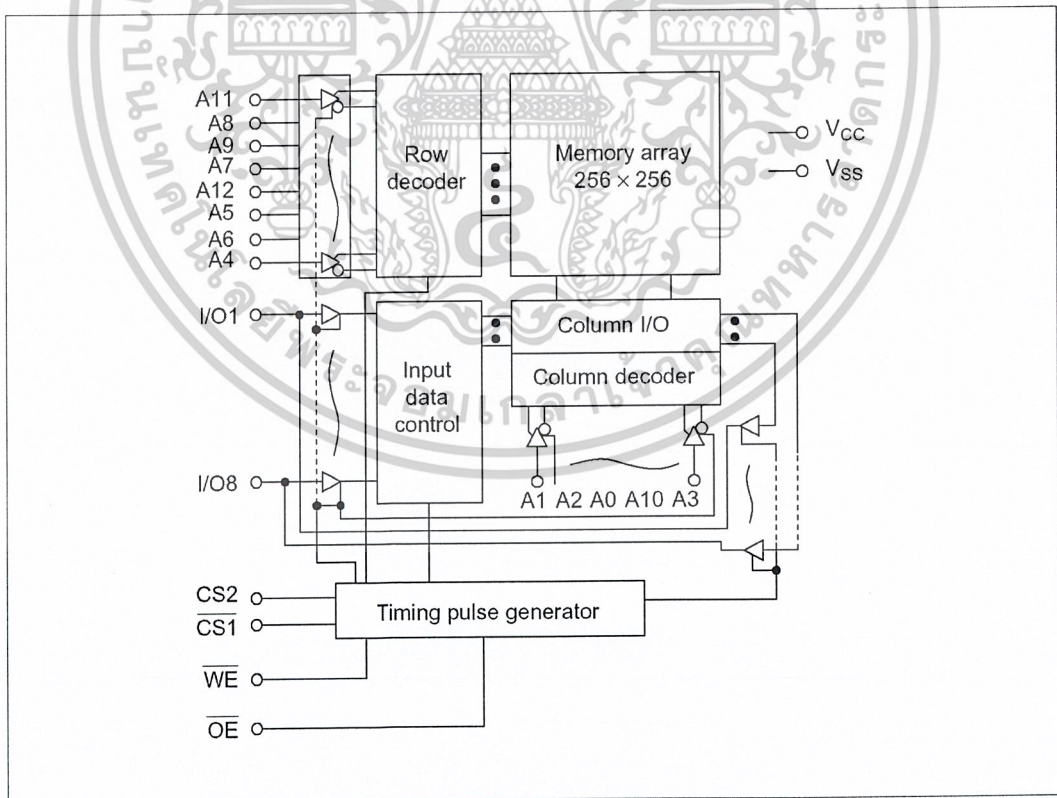
HM6264A Series

HM6264A Series

Pin Arrangement



Block Diagram



## HM6264A Series

## HM6264A Series

## Truth Table

$\overline{WE}$	$\overline{CS1}$	CS2	$\overline{OE}$	Mode	I/O pin	$V_{CC}$ current	Note
x	H	x	x	Not selected (power down)	High Z	$I_{SB}, I_{SB1}$	
x	x	L	x		High Z	$I_{SB}, I_{SB1}$	
H	L	H	H	Output disabled	High Z	$I_{CC}$	
H	L	H	L	Read	Dout	$I_{CC}$	Read cycle
L	L	H	H	Write	Din	$I_{CC}$	Write cycle 1
L	L	H	L	Write	Din	$I_{CC}$	Write cycle 2

Note: x: Don't care.

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Terminal voltage <sup>1</sup>	$V_T$	-0.5 <sup>2</sup> to +7.0	V
Power dissipation	$P_T$	1.0	W
Operating temperature	$T_{opr}$	0 to +70	°C
Storage temperature	$T_{stg}$	-55 to +125	°C
Storage temperature (under bias)	$T_{bias}$	-10 to +85	°C

Notes: 1. With respect to  $V_{SS}$ .  
2. -3.0 V for pulse width  $\leq 50$  ns

Recommended DC Operating Conditions ( $T_a = 0$  to +70°C)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	$V_{CC}$	4.5	5.0	5.5	V
	$V_{SS}$	0	0	0	V
Input voltage	$V_{IH}$	2.2	—	6.0	V
	$V_{IL}$	-0.3 <sup>1</sup>	—	0.8	V

Note: 1. -3.0 V for pulse width  $\leq 50$  ns

## HM6264A Series

## HM6264A Series

DC and Operating Characteristics ( $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%$ ,  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ,  $T_a = 0\text{ to }+70^\circ\text{C}$ )

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test condition
Input leakage current	$ I_{LI} $	—	—	2	$\mu\text{A}$	$V_{in} = V_{SS}\text{ to }V_{CC}$
Output leakage current	$ I_{LO} $	—	—	2	$\mu\text{A}$	$\overline{CS1} = V_{IH}$ or $CS2 = V_{IL}$ or $\overline{OE} = V_{IH}$ or $\overline{WE} = V_{IL}$ , $V_{I/O} = V_{SS}\text{ to }V_{CC}$
Operating power supply current	$I_{CCDC}$	—	7	15	mA	$\overline{CS1} = V_{IL}$ , $CS2 = V_{IH}$ , $I_{I/O} = 0\text{ mA}$
Average operating current	$I_{CC1}$	—	30	45 <sup>5</sup>	mA	Min. cycle, duty = 100%, $\overline{CS1} = V_{IL}$ , $CS2 = V_{IH}$ , $I_{I/O} = 0\text{ mA}$
	$I_{CC2}$	—	3	5	mA	Cycle time = 1 $\mu\text{s}$ , duty = 100%, $I_{I/O} = 0\text{ mA}$ , $\overline{CS1} \leq 0.2\text{ V}$ , $CS2 \geq V_{CC} - 0.2\text{ V}$ , $V_{IH} \geq V_{CC} - 0.2\text{ V}$ , $V_{IL} \leq 0.2\text{ V}$
Standby power supply current	$I_{SB}$	—	1	3	mA	$\overline{CS1} = V_{IH}$ or $CS2 = V_{IL}$
	$I_{SB1}^2$	—	0.02	2	mA	$\overline{CS1} \geq V_{CC} - 0.2\text{ V}$ , $CS2 \geq V_{CC} - 0.2\text{ V}$ or
	—	—	2 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	$\mu\text{A}$	$0\text{ V} \leq CS2 \leq 0.2\text{ V}$ , $0\text{ V} \leq V_{in}$
	—	—	2 <sup>4</sup>	50 <sup>4</sup>	$\mu\text{A}$	
Output voltage	$V_{OL}$	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 2.1\text{ mA}$
	$V_{OH}$	2.4	—	—	V	$I_{OH} = -1.0\text{ mA}$

- Notes: 1. Typical values are at  $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $T_a = 25^\circ\text{C}$  and not guaranteed.  
 2.  $V_{IL}\text{ min} = -0.3\text{ V}$   
 3. These characteristics are guaranteed only for the L-version.  
 4. These characteristics are guaranteed only for the LL-version.  
 5. For 120 ns/150 ns version.  
 6. For 100 ns version.

Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ ,  $T_a = 25^\circ\text{C}$ )\*<sup>1</sup>

Parameter	Symbol	Typ	Max	Unit	Test condition
Input capacitance	$C_{in}$	—	5	pF	$V_{in} = 0\text{ V}$
Input/output capacitance	$C_{I/O}$	—	7	pF	$V_{I/O} = 0\text{ V}$

Note: 1. This parameter is sampled and is not 100% tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HM6264A Series

## HM6264A Series

AC Characteristics ( $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%$ ,  $T_a = 0\text{ to }+70^\circ\text{C}$ )

## AC Test Conditions:

- Input pulse levels: 0.8 V/2.4 V
- Input rise and fall time: 10 ns
- Input timing reference level: 1.5 V
- Output timing reference level
  - HM6264A-10: 1.5 V
  - HM6264A-12/15: 0.8 V/2.0 V
- Output load: 1 TTL gate and  $C_L$  (100 pF) (including scope and jig)

## Read Cycle

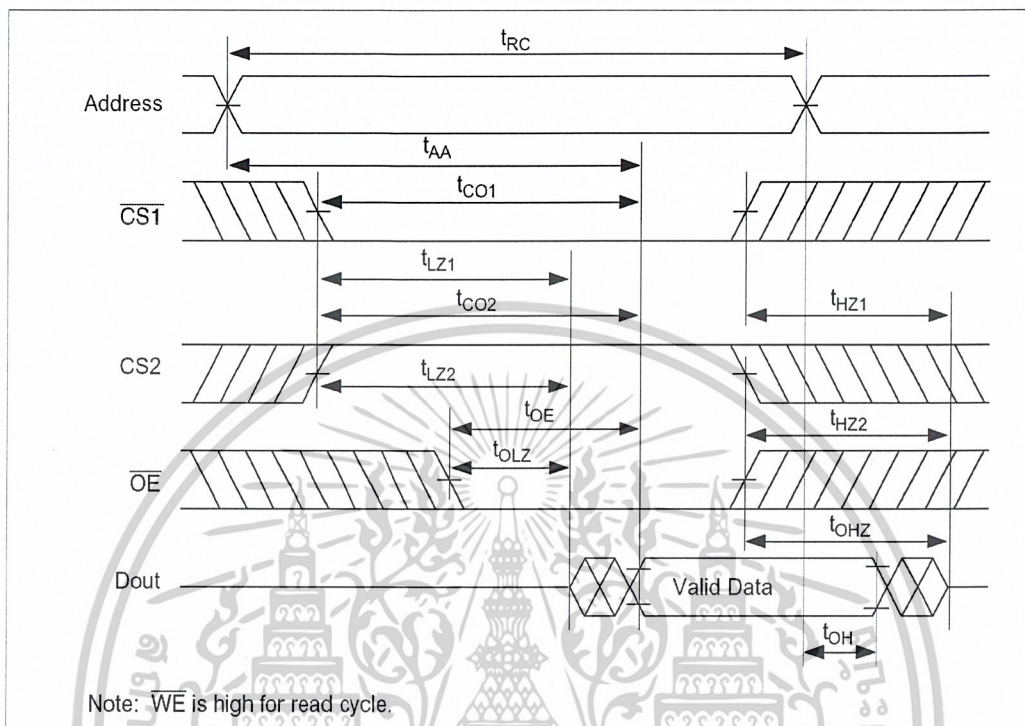
Parameter	Symbol	HM6264A-10		HM6264A-12		HM6264A-15		Unit
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Read cycle time	$t_{RC}$	100	—	120	—	150	—	ns
Address access time	$t_{AA}$	—	100	—	120	—	150	ns
Chip selection to output	CS1 $t_{CO1}$	—	100	—	120	—	150	ns
	CS2 $t_{CO2}$	—	100	—	120	—	150	ns
Output enable to output valid	$t_{OE}$	—	50	—	60	—	70	ns
Chip selection to output in low Z	CS1 $t_{LZ1}$	10	—	10	—	15	—	ns
	CS2 $t_{LZ2}$	10	—	10	—	15	—	ns
Output enable to output in low Z	$t_{OLZ}$	5	—	5	—	5	—	ns
Chip deselection to output in high Z	CS1 $t_{HZ1}$	0	35	0	40	0	50	ns
	CS2 $t_{HZ2}$	0	35	0	40	0	50	ns
Output disable to output in high Z	$t_{OHZ}$	0	35	0	40	0	50	ns
Output hold from address change	$t_{OH}$	10	—	10	—	10	—	ns

- Notes
1.  $t_{HZ}$  and  $t_{OHZ}$  are defined as the time at which the outputs to achieve the open circuit condition and are not referred to output voltage levels.
  2. At any given temperature and voltage condition,  $t_{HZ}$  maximum is less than  $t_{LZ}$  minimum both for a given device and from device to device.

## HM6264A Series

## HM6264A Series

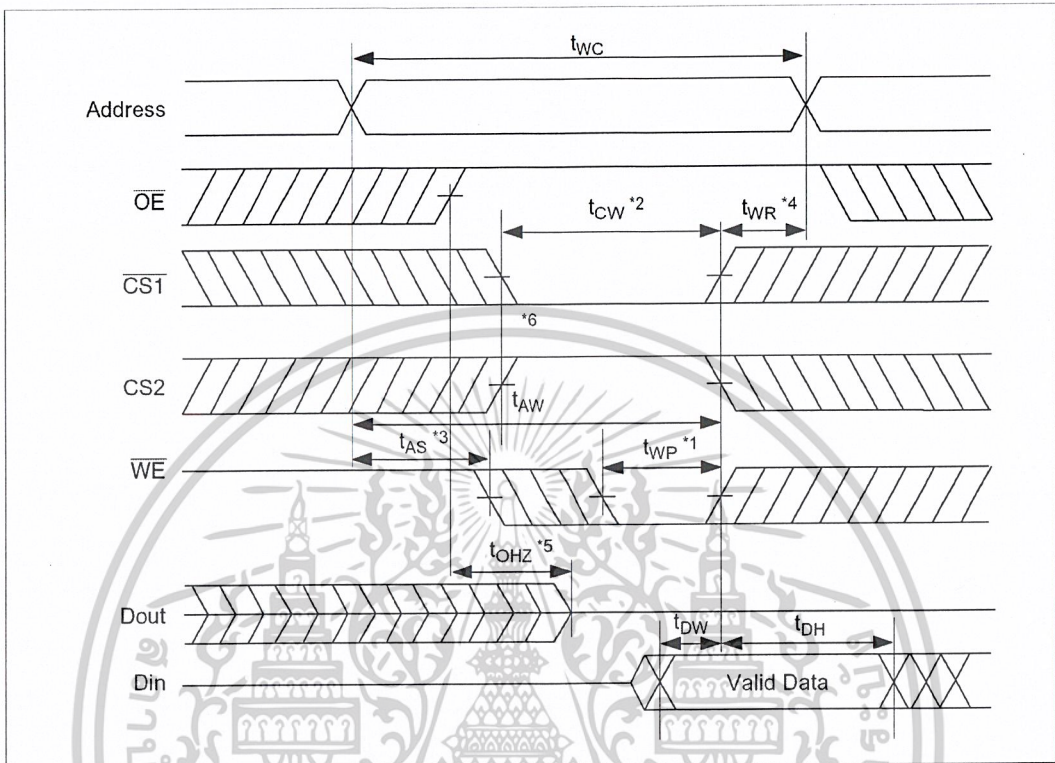
## Read Timing Waveform



## Write Cycle

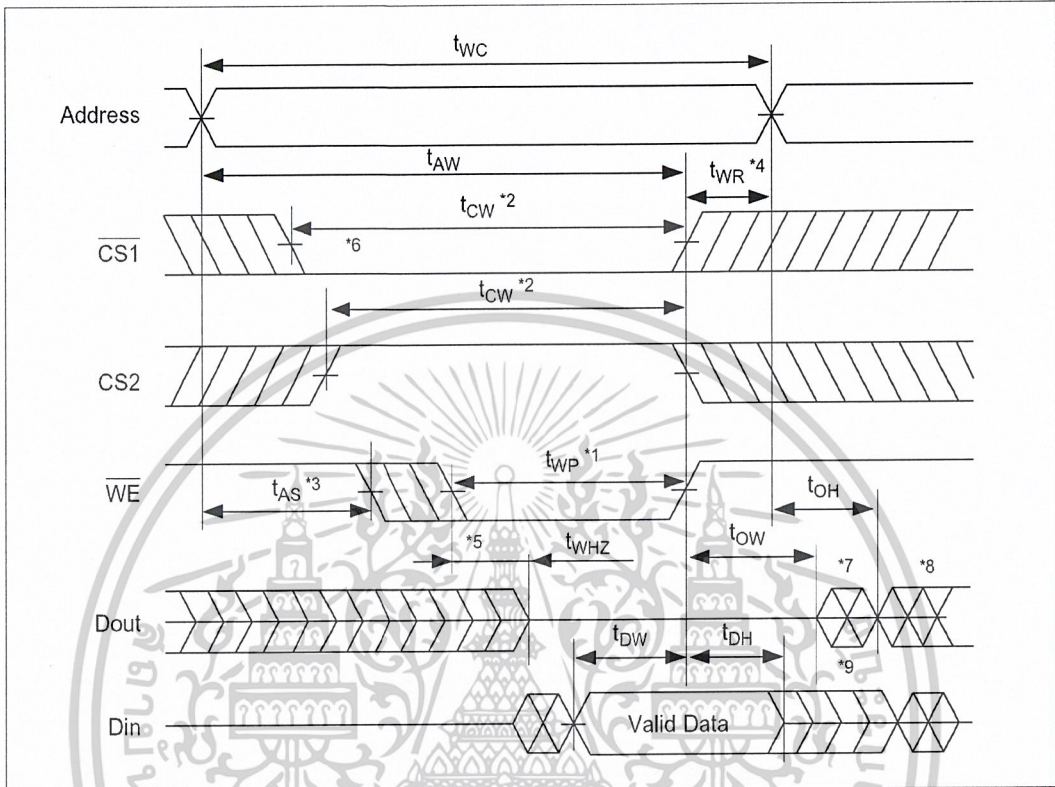
Parameter	Symbol	HM6264A-10		HM6264A-12		HM6264A-15		Unit
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Write cycle time	$t_{WC}$	100	—	120	—	150	—	ns
Chip selection to end of write	$t_{CW}$	80	—	85	—	100	—	ns
Address setup time	$t_{AS}$	0	—	0	—	0	—	ns
Address valid to end of write	$t_{AW}$	80	—	85	—	100	—	ns
Write pulse width	$t_{WP}$	60	—	70	—	90	—	ns
Write recovery time	$t_{WR}$	0	—	0	—	0	—	ns
Write to output in high Z	$t_{WHZ}$	0	35	0	40	0	50	ns
Data to write time overlap	$t_{DW}$	40	—	40	—	50	—	ns
Data hold from write time	$t_{DH}$	0	—	0	—	0	—	ns
Output enable to output in high Z	$t_{OHZ}$	0	35	0	40	0	50	ns
Output active from end of write	$t_{OW}$	5	—	5	—	5	—	ns

Write Timing Waveform (1) ( $\overline{OE}$  Clock)



## HM6264A Series

## HM6264A Series

Write Timing Waveform (2) ( $\overline{OE}$  Low Fix)

- Notes:
1. A write occurs during the overlap of a low  $\overline{CS1}$ , a high  $\overline{CS2}$ , and a low  $\overline{WE}$ . A write begins at the latest transition among  $\overline{CS1}$  going low,  $\overline{CS2}$  going high and  $\overline{WE}$  going low. A write ends at the earliest transition among  $\overline{CS1}$  going high,  $\overline{CS2}$  going low and  $\overline{WE}$  going high. Time  $t_{WP}$  is measured from the beginning of write to the end of write.
  2.  $t_{CW}$  is measured from the later of  $\overline{CS1}$  going low or  $\overline{CS2}$  going high to the end of write.
  3.  $t_{AS}$  is measured from the address valid to the beginning of write.
  4.  $t_{WR}$  is measured from the earliest of  $\overline{CS1}$  or  $\overline{WE}$  going high or  $\overline{CS2}$  going low to the end of the write cycle.
  5. During this period, I/O pins are in the output state, therefore the input signals of opposite phase to the outputs must not be applied.
  6. If  $\overline{CS1}$  goes low simultaneously with  $\overline{WE}$  going low or after  $\overline{WE}$  goes low, the outputs remain in high impedance state.
  7.  $D_{out}$  is the same phase of the latest written data in this write cycle.
  8.  $D_{out}$  is the read data of the next address.
  9. If  $\overline{CS1}$  is low and  $\overline{CS2}$  is high during this period, I/O pins are in the output state. Input signals of opposite phase to the outputs must not be applied to I/O pins

## HM6264A Series

## HM6264A Series

Low  $V_{CC}$  Data Retention

In data retention mode, CS2 controls the address,  $\overline{WE}$ ,  $\overline{CS1}$ ,  $\overline{OE}$ , and the Din buffer. If CS2 controls data retention mode, Vin (for these inputs) can be in the high impedance state. If CS1 controls the data retention mode, CS2 must satisfy either

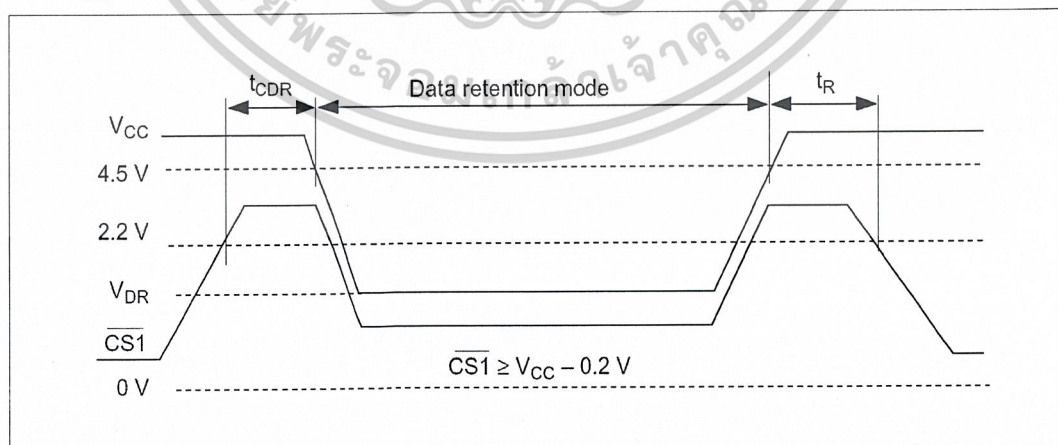
$CS2 \geq V_{CC} - 0.2 \text{ V}$  or  $CS2 \leq 0.2 \text{ V}$ . The other input levels (address,  $\overline{WE}$ ,  $\overline{OE}$ , I/O) can be in the high impedance state.

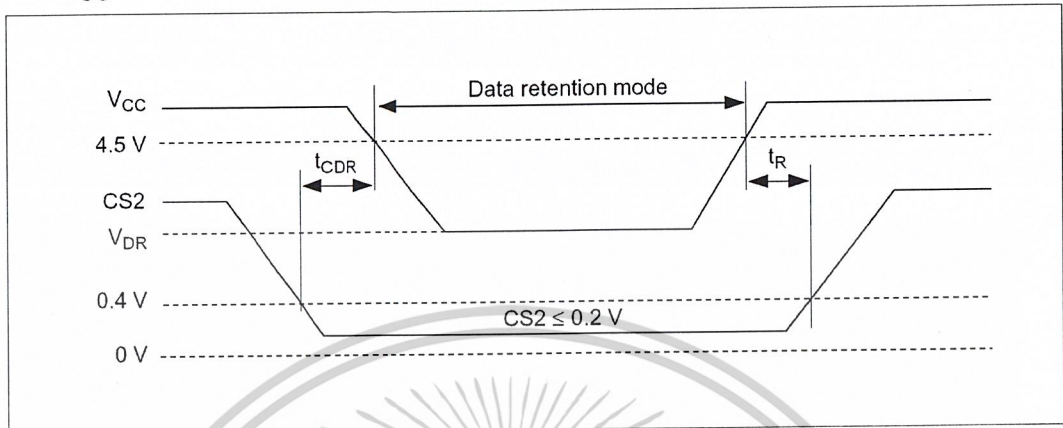
Low  $V_{CC}$  Data Retention Characteristics ( $T_a = 0$  to  $+70^\circ\text{C}$ )

This characteristics is guaranteed only L/LL-version.

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
$V_{CC}$ for data retention	$V_{DR}$	2.0	—	—	V	$\overline{CS1} \geq V_{CC} - 0.2 \text{ V}$ , $CS2 \geq V_{CC} - 0.2 \text{ V}$ , or $CS2 \leq 0.2 \text{ V}$
Data retention current	$I_{CCDR}$	—	1 <sup>1</sup>	50 <sup>1</sup>	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}$ , $\overline{CS1} \geq V_{CC} - 0.2 \text{ V}$ , $CS2 \geq V_{CC} - 0.2 \text{ V}$ , or $0 \text{ V} \leq CS2 \leq 0.2 \text{ V}$ , $0 \text{ V} \leq V_{in}$
Chip deselect to data retention time	$t_{CDR}$	0	—	—	ns	See retention waveform
Operation recovery time	$t_R$	$t_{RC}$ <sup>3</sup>	—	—	ns	See retention waveform

- Notes: 1.  $V_{IL}$  min =  $-0.3 \text{ V}$ ,  $20 \mu\text{A}$  max at  $T_a = 0$  to  $40^\circ\text{C}$ . These characteristics are guaranteed only for the L-version.  
2.  $V_{IL}$  min =  $-0.3 \text{ V}$ ,  $10 \mu\text{A}$  max at  $T_a = 0$  to  $40^\circ\text{C}$ . These characteristics are guaranteed only for the LL-version.  
3.  $t_{RC}$  = Read cycle time.

Low  $V_{CC}$  Data Retention Waveform (1) ( $\overline{CS1}$  Controlled)

Low  $V_{CC}$  Data Retention Waveform (2) ( $\overline{CS2}$  Controlled)



June 1999

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

### General Description

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

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

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

### Features

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

### Typical Applications

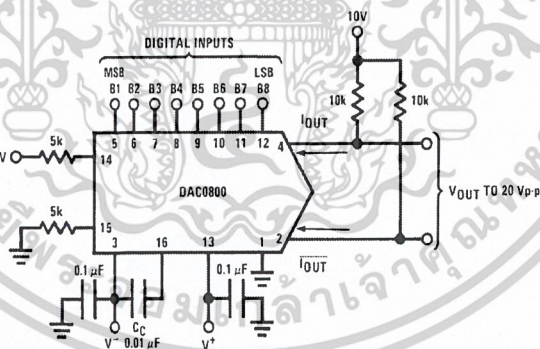


FIGURE 1. ±20 V<sub>p-p</sub> Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

### Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	N Package (N16E) (Note 1)	SO Package (M16A)		
±0.1% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

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

DAC0800/DAC0802

### Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage ( $V^+ - V^-$ )	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage ( $V_{14}$ to $V_{15}$ )	$V^-$ to $V^+$
Reference Input Common-Mode Range ( $V_{14}, V_{15}$ )	$V^-$ to $V^+$
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	$V^-$ to $V^-$ plus $36V$
Analog Current Outputs ( $V_{S^-} = -15V$ )	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	$260^\circ C$
Dual-In-Line Package (ceramic)	$300^\circ C$
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^\circ C$
Infrared (15 seconds)	$220^\circ C$

### Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature ( $T_A$ )			
DAC0800L	$-55$	$+125$	$^\circ C$
DAC0800LC	$0$	$+70$	$^\circ C$
DAC0802LC	$0$	$+70$	$^\circ C$

### Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units	
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits	
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits	
	Nonlinearity				$\pm 0.1$			$\pm 0.19$	%FS	
$t_s$	Settling Time	$T_O \pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$			100	135				ns
							100	135		ns
							100	150		ns
$t_{PLH}$ , $t_{PHL}$	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60		ns
				35	60		35	60		ns
$TC_{FS}$	Full Scale Tempo		$\pm 10$	$\pm 50$		$\pm 10$	$\pm 50$		ppm/ $^\circ C$	
$V_{OC}$	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M $\Omega$ Typ	$-10$		18	$-10$		18	V	
$I_{FS4}$	Full Scale Current	$V_{REF} = 10,000V$ , $R_{14} = 5,000$ k $\Omega$ $R_{15} = 5,000$ k $\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA	
$I_{FSS}$	Full Scale Symmetry	$I_{FS4} - I_{FS2}$		$\pm 0.5$	$\pm 4.0$		$\pm 1$	$\pm 8.0$	$\mu A$	
$I_{ZS}$	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	$\mu A$	
$I_{FSR}$	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA	
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA	
$V_{IL}$ $V_{IH}$	Logic Input Levels Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$			0.8			0.8	V	
			2.0			2.0			V	
$I_{IL}$ $I_{IH}$	Logic Input Current Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$ $2V \leq V_{IN} \leq +18V$		$-2.0$	$-10$		$-2.0$	$-10$	$\mu A$	
				0.002	10		0.002	10	$\mu A$	
$V_{IS}$	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	$-10$		18	$-10$		18	V	
$V_{THR}$	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	$-10$		13.5	$-10$		13.5	V	
$I_{15}$	Reference Bias Current			$-1.0$	$-3.0$		$-1.0$	$-3.0$	$\mu A$	
$dl/dt$	Reference Input Slew Rate	(Figure 11)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ $\mu s$	
PSS $_{FS+}$ PSS $_{FS-}$	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^+ \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%	
		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1mA$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%	

### Electrical Characteristics (Continued)

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

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I <sup>+</sup> I <sup>-</sup>	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$ , $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
			-4.3	-5.8		-4.3	-5.8	mA	
I <sup>+</sup> I <sup>-</sup>		$V_S = 5V$ , $-15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
			-6.4	-7.8		-6.4	-7.8	mA	
I <sup>+</sup> I <sup>-</sup>		$V_S = \pm 15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
			-6.5	-7.8		-6.5	-7.8	mA	
P <sub>D</sub>	Power Dissipation	$\pm 5V$ , $I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48	mW
		$5V$ , $-15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V$ , $I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174	mW

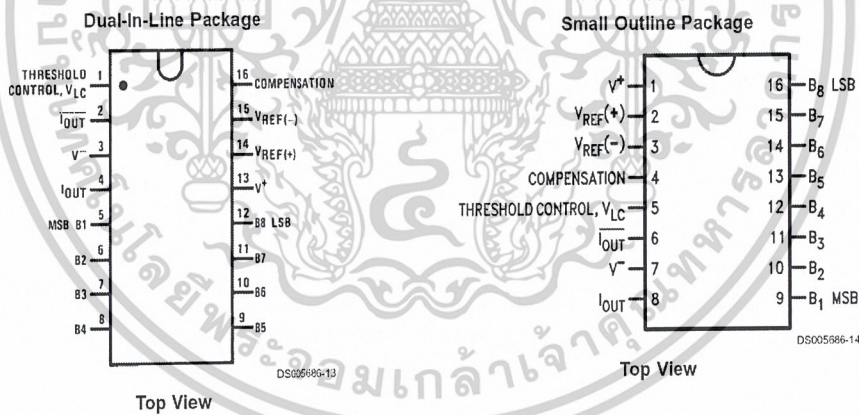
**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 3:** The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

**Note 4:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

**Note 5:** Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

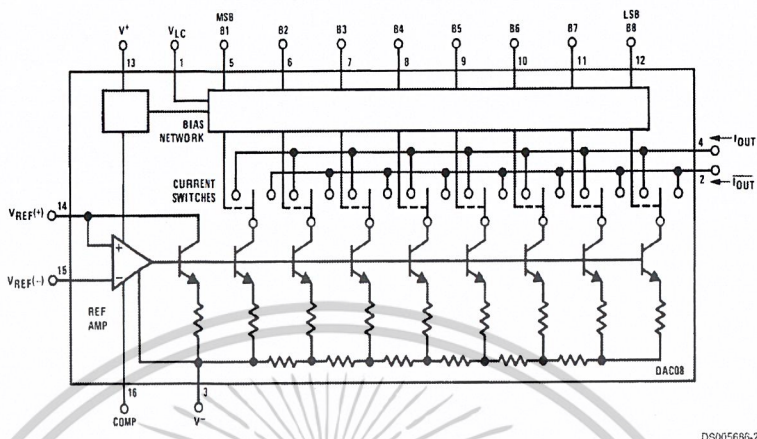
### Connection Diagrams



See Ordering Information

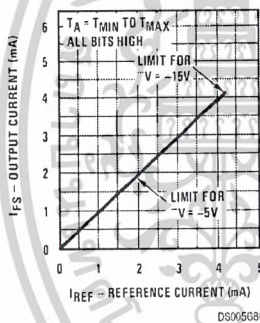
DAC0800/DAC0802

### Block Diagram (Note 5)

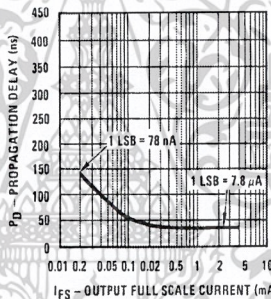


### Typical Performance Characteristics

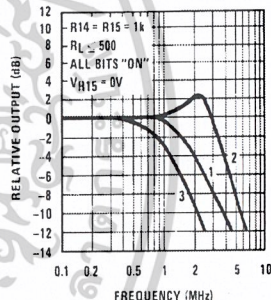
Full Scale Current vs Reference Current



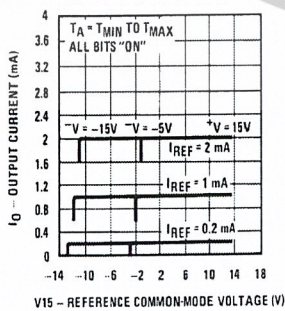
LSB Propagation Delay vs IFS



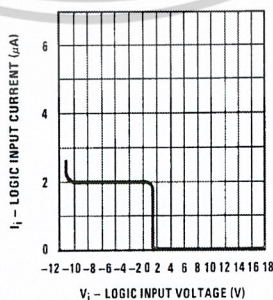
Reference Input Frequency Response



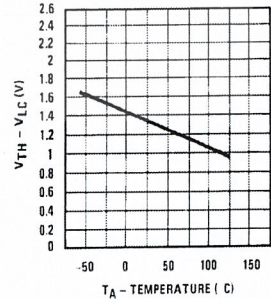
Reference Amp Common-Mode Range



Logic Input Current vs Input Voltage



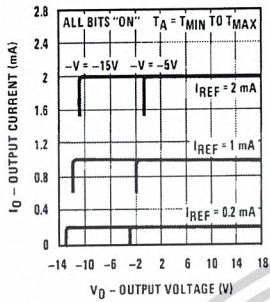
VTH - VLC vs Temperature



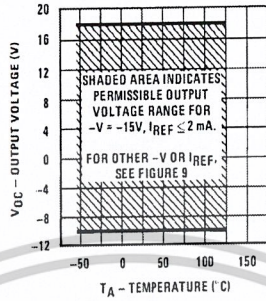
Note. Positive common-mode range is always (V+) - 1.5V.

Typical Performance Characteristics (Continued)

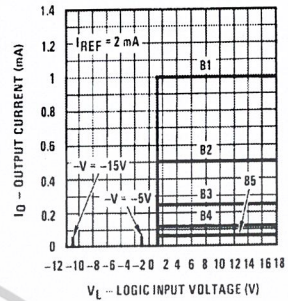
Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



Output Voltage Compliance vs Temperature

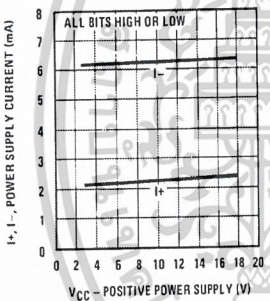


Bit Transfer Characteristics

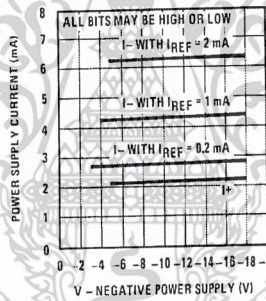


Note. B1-B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1/2 LSB error, at less than ±100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range (VLC = 0V).

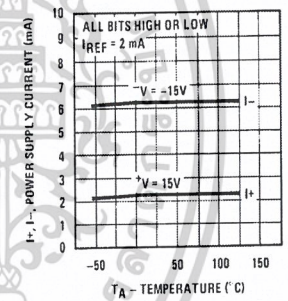
Power Supply Current vs +V



Power Supply Current vs -V



Power Supply Current vs Temperature



Equivalent Circuit

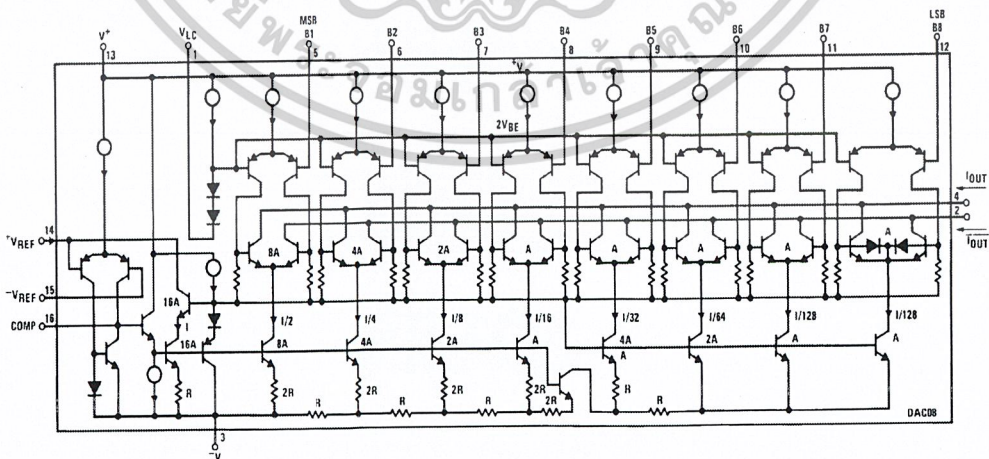
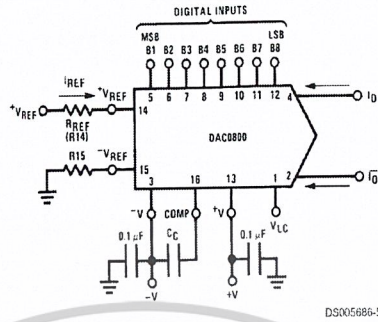


FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

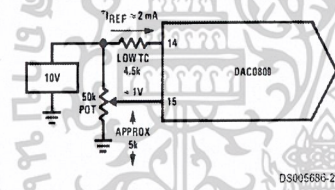


DS005686-5

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

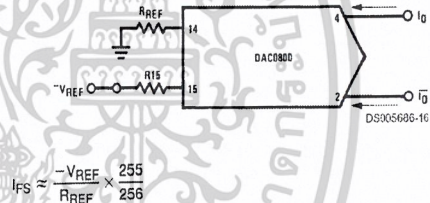
$I_0 + \bar{I}_0 = I_{FS}$  for all logic states  
 For fixed reference, TTL operation, typical values are:  
 $V_{REF} = 10.000V$   
 $R_{REF} = 5.000k$   
 $R15 = R_{REF}$   
 $C_C = 0.01 \mu F$   
 $V_{LC} = 0V$  (Ground)

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 5)



DS005686-21

FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 5)

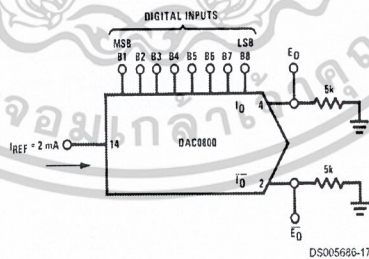


DS005686-16

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

Note.  $R_{REF}$  sets  $I_{FS}$ ;  $R15$  is for bias current cancellation

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 5)

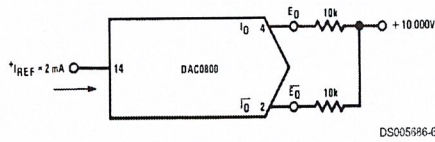


DS005686-17

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	$I_0$ mA	$\bar{I}_0$ mA	$E_0$	$\bar{E}_0$
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-9.960

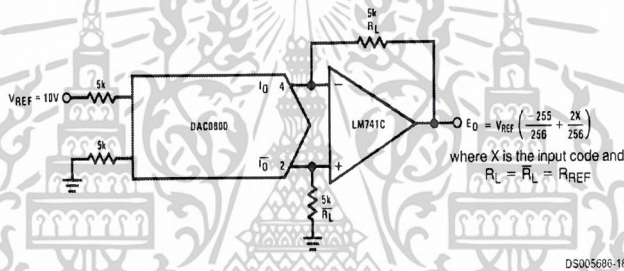
FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 5)

Typical Applications (Continued)



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

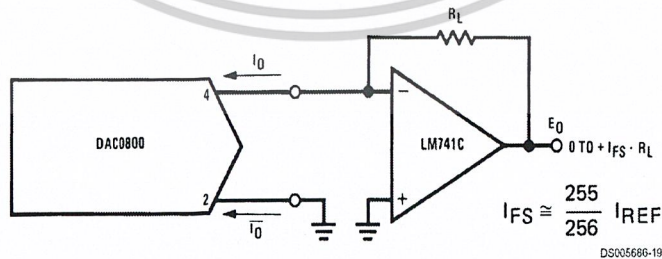
FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 5)



If  $R_L = \bar{R}_L$  within  $\pm 0.05\%$ , output is symmetrical about ground

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

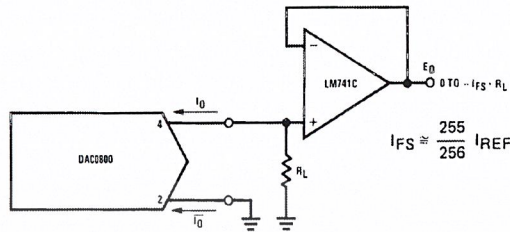
FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 5)



For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to  $\bar{I}_0$  (pin 2), connect  $I_0$  (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 5)

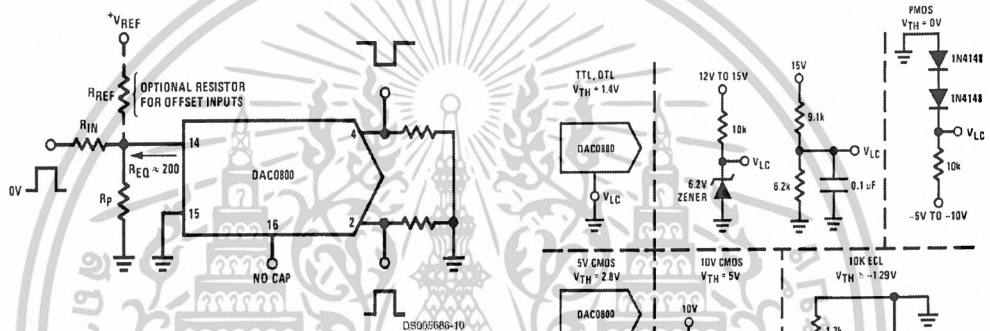
Typical Applications (Continued)



DS005686-20

For complementary output (operation as a negative logic DAC) connect non-inverting input of op amp to  $I_O$  (pin 2); connect  $I_O$  (pin 4) to ground.

FIGURE 10. Negative Low Impedance Output Operation (Note 5)

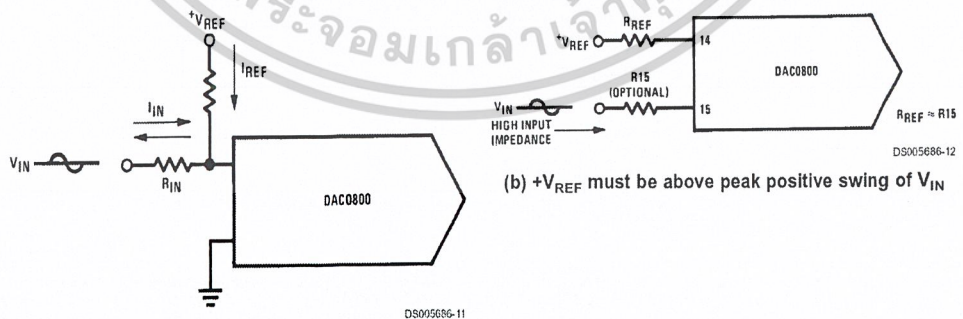


Typical values:  $R_{IN} = 5k$ ;  $V_{IN} = 10V$

FIGURE 11. Pulsed Reference Operation (Note 5)

$V_{TH} = V_{LC} + 1.4V$   
 15V CMOS, HTL, HNIL  
 $V_{TH} = 7.6V$   
 Note: Do not exceed negative logic input range of DAC.

FIGURE 12. Interfacing with Various Logic Families



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

FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 5)

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

Typical Applications (Continued)

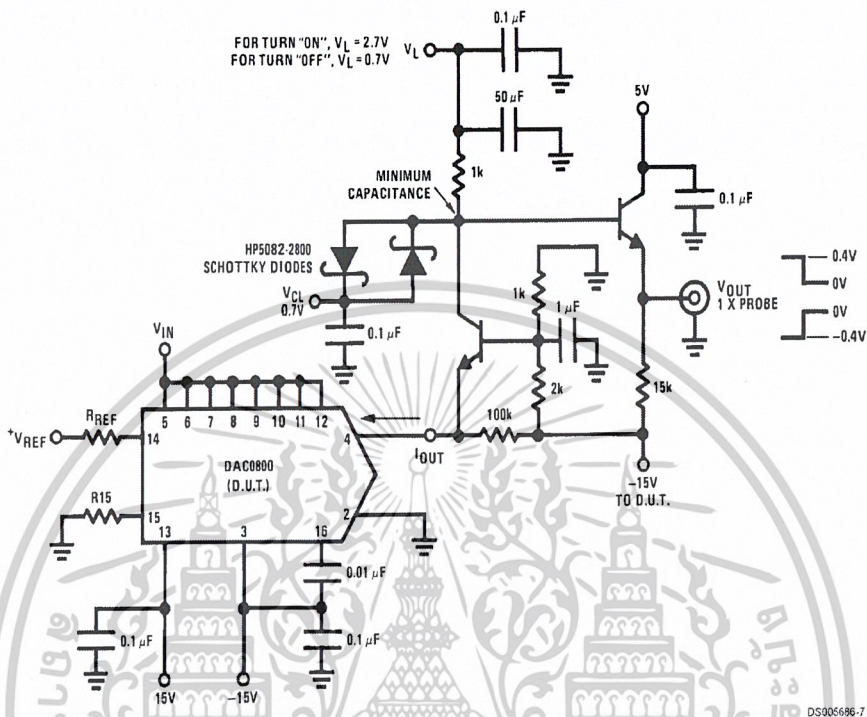
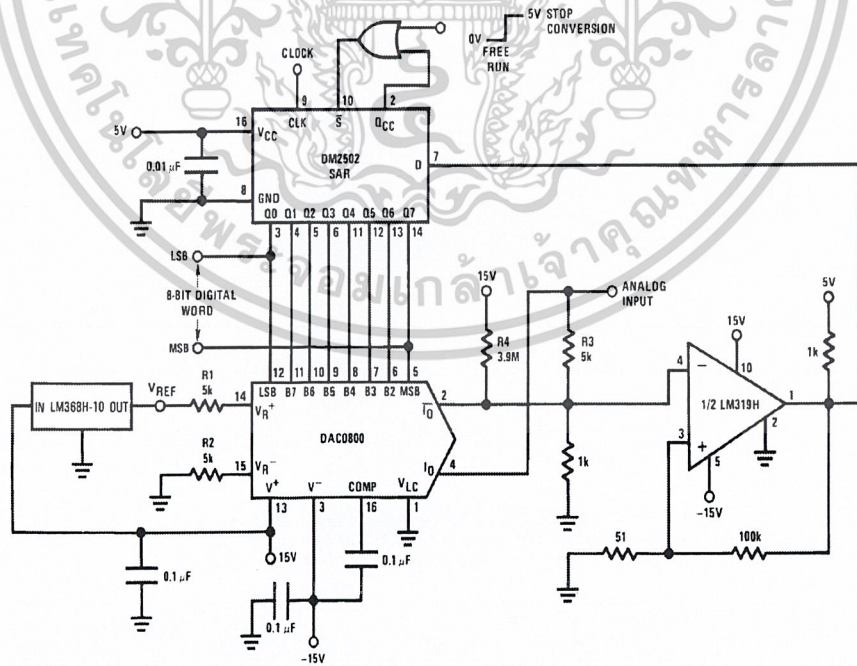


FIGURE 14. Settling Time Measurement (Note 5)



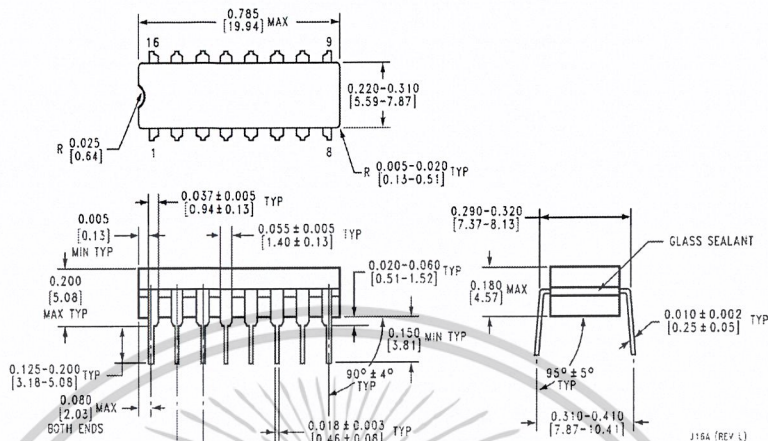
Note. For 1 µs conversion time with 8-bit resolution and 7-bit accuracy, an LM361 comparator replaces the LM319 and the reference current is doubled by reducing R1, R2 and R3 to 2.5 kΩ and R4 to 2 MΩ.

FIGURE 15. A Complete 2 µs Conversion Time, 8-Bit A/D Converter (Note 5)

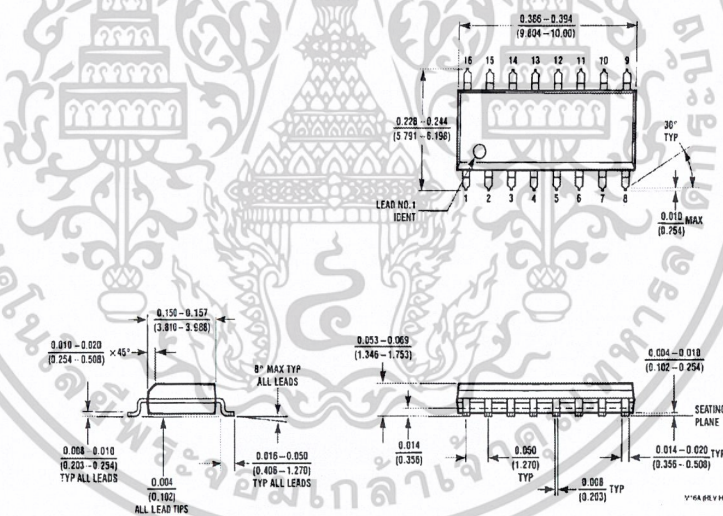
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC0800/DAC0802

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted

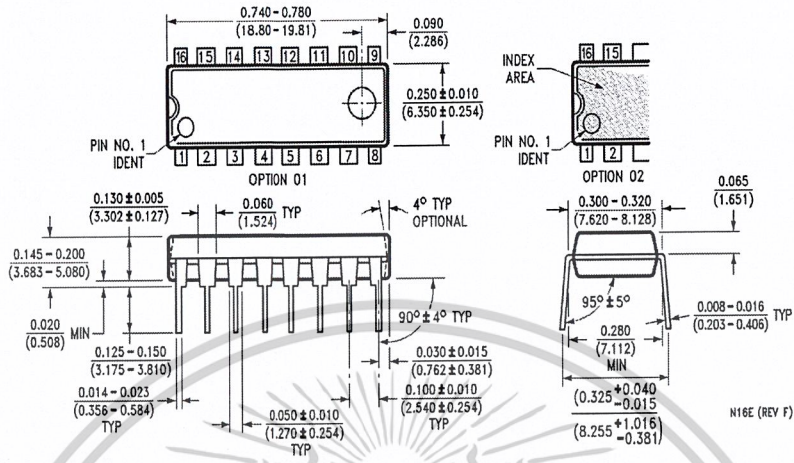


**Molded Small Outline Package (SO)**  
**Order Numbers DAC0800LCM,**  
**or DAC0802LCM**  
**NS Package Number M16A**



**Molded Small Outline Package (SO)**  
**Order Numbers DAC0800LCM,**  
**or DAC0802LCM**  
**NS Package Number M16A**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package  
 Order Numbers DAC0800, DAC0802  
 NS Package Number N16E

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL 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 whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is 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.

 <p><b>National Semiconductor Corporation</b> Americas Email: support@nsc.com</p> <p>www.national.com</p>	<p><b>National Semiconductor Europe</b></p> <p>Fax: +49 (0) 180-530 85 86              Email: europe.support@nsc.com              Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208              English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171              Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790</p>	<p><b>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group</b></p> <p>Tel: 65-2544466              Fax: 65-2504466              Email: ap.support@nsc.com</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b></p> <p>Tel: 81-3-5639-7560              Fax: 81-3-5639-7507</p>
--	---	--	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล	นายคณัย จันทรสิริ
วัน เดือน ปีเกิด	31 มีนาคม 2524
ภูมิลำเนา	6/4 หมู่ 3 ต.ลาดสวาย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดแจ้งลำหิน จังหวัดปทุมธานี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	ช่วยเหลือตัวเองให้ดีที่สุด ก่อนที่จะขอให้ใครช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล	นางสาวนาคยา ตรีวุฒิ
วัน เดือน ปีเกิด	16 ธันวาคม 2523
ภูมิลำเนา	35/1 หมู่ 1 ต. พิตเพียน อ. มหาราช จ.พระนครศรีอยุธยา 13150
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดกระโจมทอง จ.พระนครศรีอยุธยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านแพรกประชาสรรค์ จ.พระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	ถ้าพูดถึงเรื่องบิน นกกระจอกตัวน้อยก็บินได้ นกตัวไหนๆ ก็บินได้ ถ้าเราจะบินทั้งทีต้องบินให้ได้อย่างพญาอินทรี

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล	นายพงศกร กัญญา
วัน เดือน ปีเกิด	22 เมษายน 2525
ภูมิลำเนา	56/10 หมู่ 19 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอภัยสุนทรณ์ จังหวัดปทุมธานี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนธรรมศาสตร์คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	การทำงานใดๆ อย่าหวั่นความขาดแคลนเป็นข้ออ้างจงทำงาน ตามกลางความขาดแคลนนั้นให้สำเร็จและบรรลุผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อสกุล	นายวโรดม เกรือวพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	4 พฤษภาคม 2525
ภูมิลำเนา	12/1 หมู่ 1 ต.ชนู อ.อุทัย จ.พระนครศรีอยุธยา 13000
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลพระนครศรีอยุธยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียน ภปร. ราชวิทยาลัยในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดนครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	พรุ่งนี้เป็นสิ่งที่ไม่เคยมาถึง เพราะฉะนั้นจงฝากชีวิตไว้กับวันนี้และ ทำมันให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้