

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ**

**AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM**



โดย

นางสาวธิดาพร สร้อยอาภรณ์  
นายกอบเกียรติ โพลีเทธิ์วิญญู

๒๒๓  
๘๕๘๑๕  
๑๕๕๐

เลขหมู่.....**83266**  
เลขทะเบียน.....  
วันเดือนปี...**11 ส.ค. 2551**

b๒...๑-๑๓๖๕๔๒๑...  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ  
AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ นางสาวธิดาพร ศรีอยากรณ์ 47010333  
นายกอบเกียรติ โพธิ์ทวีบุญ 47010029

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

โดย

นางสาวธิดาพร สร้อยอาภรณ์ 47010333

นายกอบเกียรติ โพลีทวีปัญญา 47010029

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติในเตาหลอม หรือหม้อต้มที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งต้องอาศัยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ขั้นตอนการดำเนินการคือ เริ่มจากการสร้างชุดจำลองการควบคุมกระบวนการหลอมของเตาหลอม โดยวัดอุณหภูมิภายในหม้อต้ม จากนั้นค่าที่ได้จะส่งให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการคำนวณโปรแกรมเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิเป้าหมายว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมให้รีเลย์ทำงานควบคุมขดลวดความร้อน โดยสามารถกำหนดอุณหภูมิเป้าหมายที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM**

By

Ms.Thidaporn Soiaporn

Mr.Kobkiart Positwinyu

Advisor

Mr.Noppadol Maneerat

Academic Year 2007

## **ABSTRACT**

This thesis project proposes the temperature control for industrial boiler. The industrial boiler will be controlled its temperature for producing the good quality product.

The project has been conducted in the following steps. First, the measured temperature is sent to microcontroller to calculate and compare to the set range. Second, microcontroller sends the control signal to relay to control the temperature. The minimum and maximum temperature can be added to the system to test and control the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ตลอดหนึ่งปีการศึกษาการดำเนินการศึกษาหาข้อมูล และออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติขึ้นมา นั้น แต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบกับอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ก็สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะคำแนะนำ คำปรึกษา และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร.นพดล มณีรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทชั้นนี้เป็นท่านผู้ที่คอยดูแลให้กำลังใจ ตลอดจนให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน และคณะผู้จัดทำจะนำความรู้ ประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้จากการทำงานในครั้งนี้ไปประยุกต์กับการทำงานครั้งต่อไป

ขอขอบคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของคณะผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจ มาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือเมื่อต้องการ ซึ่งทำหน้าที่เพื่อนได้ดีมาก

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญาโทชั้นนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัย ณ ที่นี้

นางสาวธิดาพร ศรีอยุธยา  
นายกอบเกียรติ โพธิ์ทวีบุญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ	3
2.2 ชนิดของระบบควบคุม	5
2.2.1 ระบบควบคุมแบบรูปเปิด	5
2.2.2 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบรูปเปิด	5
2.2.2 ระบบควบคุมแบบรูปปิด	6
2.2.4 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบรูปปิด	6
2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ	7
2.3.1 ไบเมทอลลิก เทอร์โมสแตท	7
2.3.2 เทอร์มิสเตอร์	7
2.3.3 อาร์ทีดี	9
2.3.4 เทอร์โมคัปเปิล	11
2.4 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี	19
2.4.1 ตัวอย่างตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี	19
2.5 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิไอซี LM 335	20
2.5.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว LM335	21
2.5.2 คุณสมบัติเฉพาะตัว	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบ</b>	23
3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	23
3.1.1 Heater	23
3.1.2 LM 335	23
3.1.3 ATmega8L	24
3.1.4 LCD	24
3.2 วงจรตรวจวัดและแสดงผลอุณหภูมิ	24
3.3 วงจรรีเลย์ควบคุมขดลวดความร้อน	25
3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 5 โวลท์	26
3.5 วิธีการใช้งานชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ	26
3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	27
3.7 วงจรระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	28
<b>บทที่ 4 การทดลอง</b>	30
4.1 ผลการทดลองของวงจรวัดอุณหภูมิ	30
4.2 ผลการทดลองของวงจรควบคุมขดลวดความร้อน	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์</b>	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 วิจารณ์การทดลอง	37
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	37
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการ	38
5.5 แนวทางการพัฒนาแก้ไขและการปรับปรุง	38
<b>ภาคผนวก ก โปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ</b>	39
<b>ภาคผนวก ข คัดำรืท LM 335</b>	46
<b>ภาคผนวก ค คัดำรืท ATmega8L</b>	61
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ	3
2.2 ระบบควบคุมแบบรูปเปิด	5
2.3 ระบบควบคุมแบบรูปปิด	6
2.4 ลักษณะภายในของเทอร์โมสตัท	7
2.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ ของ NTC และ PTC เบอร์ต่าง ๆ	9
2.6 รูปแสดงผลของปรากฏการณ์ซีเบ็ค	11
2.7 รูปแสดงผลของเพลเทียร์	13
2.8 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี LM335	19
2.9 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี LM34	19
2.10 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี AD592	19
2.11 ลักษณะ LM 335	20
2.12 วงจรการ Adjust ค่าของไอซี LM 335	21
3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	23
3.2 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ	24
3.3 ส่วนการแสดงผล	25
3.4 รีเลย์ที่ใช้ในการควบคุมขดลวดความร้อน	25
3.5 วงจรกำเนิดแรงดัน 5 โวลต์	26
3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ	27
3.7 วงจรของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	28
4.1 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 1	31
4.2 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 2	32
4.3 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 3	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 1	30
4.2 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 2	31
4.3 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 3	32
4.4 ผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อนของการทดลองครั้งที่ 1	34
4.5 ผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อนของการทดลองครั้งที่ 2	35
4.6 ผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อนของการทดลองครั้งที่ 3	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

การควบคุมอัตโนมัติ ปัจจุบันนี้เป็นส่วนหนึ่งของคนเรา ไม่ว่าจะเป็นในบ้าน นับตั้งแต่การควบคุม อุณหภูมิอย่างง่ายของกาต้มน้ำ ไปจนถึงระบบควบคุมที่ยุ่งยากและซับซ้อนที่ใช้ในกิจการและอุตสาหกรรม ต่าง ๆ เช่น การกลั่นน้ำมัน ดังนั้นวิศวกรส่วนมากจะมีโอกาสทำงานกับระบบควบคุมต่าง ๆ ไม่ทางใดทางหนึ่งเสมอ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมอัตโนมัติจึงมีประโยชน์และความจำเป็นแก่การปฏิบัติงาน ระบบควบคุมอัตโนมัติคือระบบทางพลศาสตร์ ฉะนั้นการศึกษาความรู้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติของการควบคุม จึงเป็นรากฐานในการช่วยให้เข้าใจในระบบทางพลศาสตร์อื่น ๆ ด้วย รวมทั้งการศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติจึงเป็นประโยชน์ในความสามารถที่จะนำความรู้จากสาขาต่าง ๆ มารวมกันขึ้นเป็นระบบควบคุมที่ใช้งานได้

ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม รวมทั้งเกษตรกรรม ย่อมมีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ด้วยเสมอ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมอุณหภูมิต่ำ เช่น ตู้แช่อาหารสดที่ต้องการความเย็นเพื่อรักษาความสดของอาหารอยู่ เสมอ หรือ การฟักไข่ในการเลี้ยงไก่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิเสมอ หรือการควบคุมอุณหภูมิสูง ๆ เช่น การกลั่นน้ำมันที่ต้องอาศัยการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำเพื่อให้ได้คุณภาพ การหลอมเหล็กก่อนนำไปหลอมเป็นชิ้นงาน ดังนั้นในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญาโท

1. สามารถออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมที่มีการควบคุมอุณหภูมิ
3. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีและปฏิบัติในระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติไปประยุกต์ใช้ในการวัดค่าอื่น ๆ ทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม หรือในชีวิตประจำวัน เช่น การวัดค่าความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ในอาหาร เป็นต้น

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์การตรวจวัดอุณหภูมิแบบต่าง ๆ
2. ศึกษาการแสดงผลออก โดยใช้ตัวแสดงผลแบบLCD
3. ศึกษาการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System)
4. ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติและนำไปทดลองใช้งานจริง
5. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์แบบต่าง ๆ

### 1.4 รายละเอียดของปริิญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิญญานิพนธ์นี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการทำปริิญญานิพนธ์ ขอบเขตของการศึกษา และรายละเอียดของปริิญญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ ชนิดของระบบควบคุม ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ กล่าวถึงส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ วงจรตรวจวัดและแสดงผลอุณหภูมิ รีเลย์ควบคุมขดลวดความร้อน วิธีการใช้งานชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ

บทที่ 4 การทดลอง กล่าวถึงการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิ การทดลองรีเลย์ควบคุมขดลวดความร้อน

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึงสรุปผลการทดลอง วิจารณ์การทดลอง ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการ แนวทางการพัฒนาแก้ไขและปรับปรุง

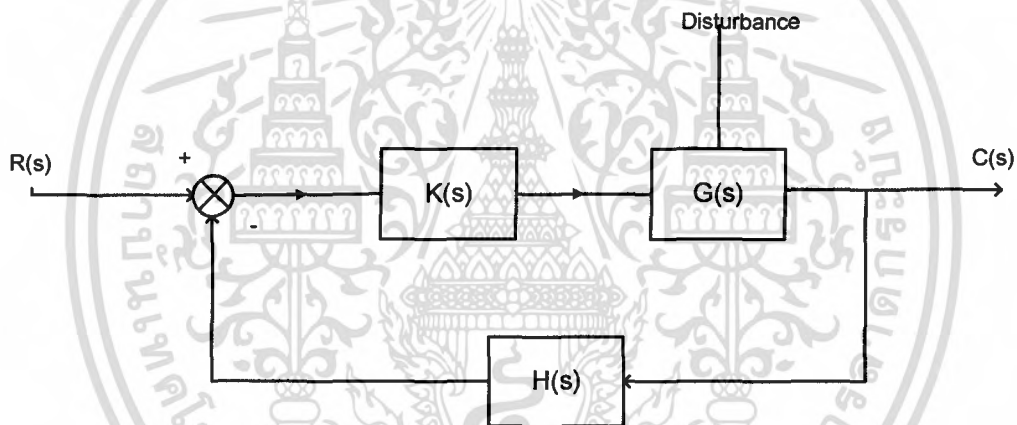
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะระบบควบคุมที่ออกแบบอย่างดี ย่อมขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละระบบไม่จำเป็นต้องเหมือนกันทุกระบบ แต่ระบบควบคุมทุก ๆ ระบบมักจะมีโครงสร้างพื้นฐานที่คล้าย ๆ กันเสมอ ดังนั้นเราต้องเรียนรู้ถึงพื้นฐานของระบบควบคุมให้เข้าใจเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ ใช้กับงานได้อย่างถูกต้อง

### 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไป



รูปที่ 2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 เป็นรูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยทั่วไป ซึ่งมี  $R(s)$  เป็นอินพุทของระบบที่จะถูกส่งไปยัง  $G(s)$  ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานของระบบ ซึ่งจะถูกรวมโดยสัญญาณควบคุมจาก  $K(s)$  ซึ่งเป็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการทำงานของระบบโดยทั่วไปแล้ว อาจเกิดการรบกวนได้จากภายในหรือภายนอก ระบบ ซึ่งทำให้ค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นการสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หรือ  $H(s)$  นั้น เพื่อนำค่าเอาต์พุทที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าอินพุท เพื่อส่งค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกับคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการสร้างสัญญาณควบคุมมาทำให้เอาต์พุทของระบบได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำจำกัดความ

1. **อินพุท (Input)** หมายถึง ค่าหรือผลตอบสนองที่ต้องการของระบบที่ต้องการควบคุมที่กำหนดไว้

2. **ตัวควบคุม (Controller)** หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุม มีเอาต์พุทหรือผลตอบสนองตามต้องการ

3. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุม หรือ อาจจะเป็นวัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุมก็ได้

4. **เอาต์พุท (Output)** หมายถึง ผลตอบสนองของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องการจะควบคุมให้เอาต์พุทมีค่าตามอินพุทที่กำหนด (หรือตามค่าอินพุทที่เปลี่ยนแปลงไป) หรือมีค่าคงเดิมได้เมื่อมีการรบกวนทั้งภายในและภายนอกมากระทำต่อระบบที่ถูกควบคุม

5. **การรบกวน (Disturbance)** หมายถึง สัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในระบบที่ถูกควบคุม สัญญาณรบกวนนี้อาจจะเกิดขึ้นที่จุดใด ๆ ในระบบก็ได้ การรบกวนนี้แบ่งเป็นสองลักษณะ

- **การรบกวนภายใน (Internal Disturbance)** ซึ่งอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

- **การรบกวนภายนอก (External Disturbance)** เป็นการรบกวนที่เกิดขึ้นจากภายนอกระบบ แต่มีผลต่อระบบที่กำลังควบคุมอยู่ โดยทั่วไปจะถือว่าการรบกวนจากภายนอกเป็นอินพุทหนึ่ง (ที่ไม่พึงประสงค์) ของระบบควบคุม

6. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ที่อาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลงหรือวัดสัญญาณอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่วัดค่าของเอาต์พุทของระบบที่ถูกควบคุม แล้วป้อนกลับไปเพื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุทของระบบ

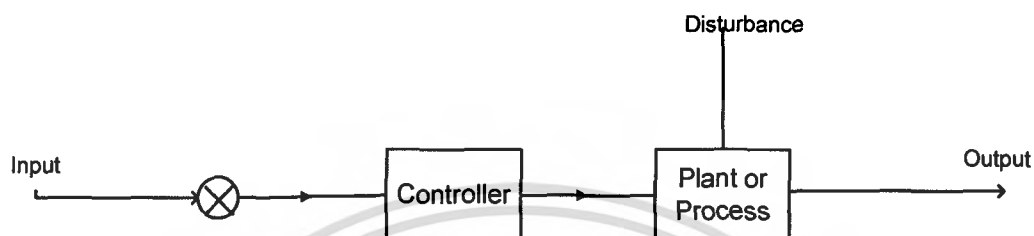
7. **ระบบ (System)** หมายถึง การนำเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้มารวบรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่ต้องการ

8. **ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System)** หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้เอาต์พุทหรือผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุทป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุท ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างอินพุทกับเอาต์พุท ส่งต่อไปยังส่วนสร้างสัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้เอาต์พุทของระบบที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมลูปปิด หรือระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้

## 2.2 ชนิดของระบบควบคุม

การจำแนกชนิดของระบบควบคุมทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบนั้น ลักษณะของสัญญาณ ลักษณะการวิเคราะห์และศึกษาระบบเป็นต้น

### 2.2.1 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด (Open Loop)



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด

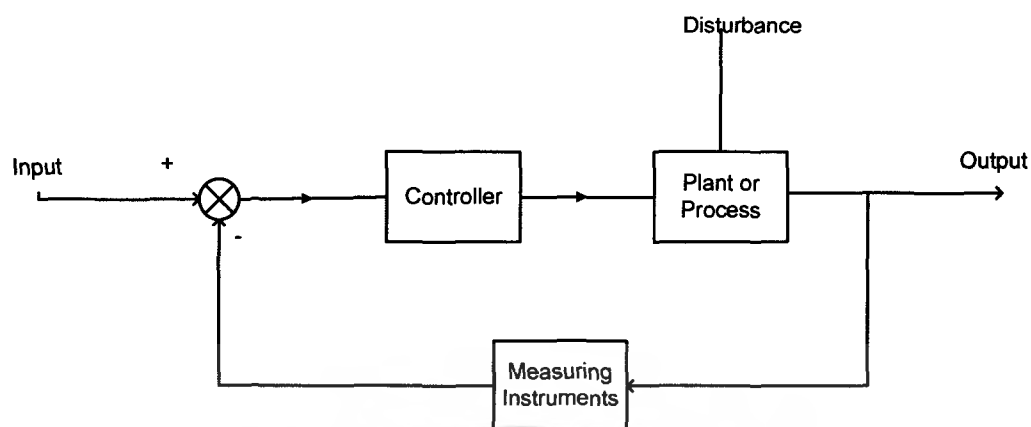
จากรูปที่ 2.2 เป็นระบบควบคุมแบบลูปเปิด ซึ่งอินพุตที่ได้จะถูกส่งไปยังกระบวนการทำงานของระบบ โดยมีสัญญาณควบคุมจากคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ได้เอาต์พุต โดยอาจมีการรบกวนระบบจากทั้งภายในและภายนอกกระบวนเอง ทำให้บางครั้งเอาต์พุตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

### 2.2.2 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปเปิด

- ไม่มีการนำเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับอินพุต (ไม่มีการป้อนกลับ)
- เอาต์พุตไม่มีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- ไม่สามารถควบคุมเอาต์พุตหรือผลตอบสนองของระบบให้เป็นไปตามต้องการได้ตลอดเวลาหรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- ไม่สามารถจัดผลของการรบกวนได้ แต่ต้องใช้วิธีการปรับอินพุต
- ความเที่ยงตรงของเอาต์พุตขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ และการปรับเทียบ (Calibrate)
- ใช้งานง่าย ไม่ต้องกังวลเรื่องเสถียรภาพเพราะจะทราบได้ในทันที
- ระบบควบคุมแบบลูปเปิด จะใช้กับระบบที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง และใช้งานง่าย ๆ เช่น พัดลม เตาเรีด ระบบควบคุมไฟจราจรแบบเดิม ระบบที่มีการทำงานตามเวลาล่วงหน้าที่กำหนดไว้เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop)



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด

จากรูปที่ 2.3 เป็นรูประบบควบคุมแบบลูปปิด ซึ่งต่างจากระบบควบคุมแบบลูปเปิด คือในระบบควบคุมแบบลูปเปิดนั้น จะไม่มีระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ทำให้เมื่อเกิดการรบกวนจากภายนอก หรือ ภายในระบบ ค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นจากรูปที่ 2.3 ในระบบควบคุมแบบลูปปิด จะมีการสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับขึ้นมา เพื่อนำค่าเอาต์พุตที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอินพุต เพื่อนำผลที่ได้จากการเปรียบเทียบไปสร้างสัญญาณควบคุมจากคอนโทรลเลอร์เพื่อจัดการรบกวนจากทั้งภายในและภายนอกระบบ

#### 2.2.4 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปปิด

- มีการนำเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับอินพุต (การป้อนกลับ) ดังนั้น เอาต์พุตมีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- สามารถควบคุมเอาต์พุตหรือผลตอบสนองต่อระบบควบคุม เป็นไปได้ตามต้องการได้ตลอดเวลา หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- สามารถจัดผลหรือลดผลของการรบกวนได้ ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนจากภายใน หรือ การรบกวนจากภายนอก ทั้งนี้เพราะมีการป้อนกลับ
- อุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงสูง
- ต้องระวังปัญหาเรื่องเสถียรภาพอันเกิดจากผลการป้อนกลับ
- ระบบควบคุมแบบลูปปิด จะใช้กับระบบที่มีความเที่ยงตรงสูง และใช้งานทั่วไป หรืองานควบคุมอุตสาหกรรม เช่น การควบคุมอุณหภูมิห้อง การควบคุมอุณหภูมิของผู้เย็น ระบบควบคุมเชิงกล ระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

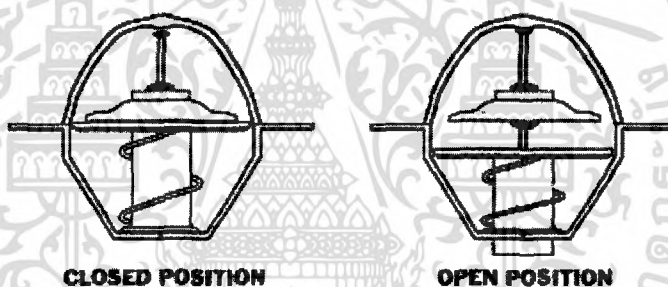
## 2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Detector)

Temperature Detector (ตัวตรวจจับความร้อน) ที่ใช้ในการตรวจจับความร้อนของมอเตอร์แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

1. ไบเมทัลลิก (เทอร์โมสแตท) Bimetallic ( Thermostat )
2. เทอร์มิสเตอร์ ( Thermister )
3. อาร์ทีดี ( RTD )
4. เทอร์โมคัปเปิล ( Thermocouple )

### 2.3.1 ไบเมทัลลิก (เทอร์โมสแตท)

เทอร์โมสแตทเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงตัวได้ โดยใช้หลักการว่า เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้แผ่น โลหะคู่หรือแก๊สขยายตัวหรือหดตัว ซึ่งจะควบคุมการเปิดปิดของวงจรไฟฟ้าได้ โดยอัตโนมัติ ซึ่งมีลักษณะภายในดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปลักษณะภายในของเทอร์โมสแตท

### 2.3.2 เทอร์มิสเตอร์ (Thermister)

เทอร์มิสเตอร์เกิดจากการ โด๊ปสารเซมิคอนดักเตอร์ประเภทหนึ่งทำให้คุณสมบัติมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์จะทำงานร่วมกับรีเลย์ ตัวมันเองมีขนาดเล็กและเป็นตัวตรวจจับความร้อนที่นิยมใช้มากที่สุด แต่มีข้อเสียที่ไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้

เทอร์มิสเตอร์ มีอยู่สองประเภทคือ NTC และ PTC ชนิดที่ใช้ในวงการมอเตอร์ คือ ชนิด PTC โดยมี หลักการทำงานคือค่าความต้านทานของตัวมันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของค่า ความต้านทานจะไม่เป็นเส้นตรง และมีการลดลงในบางช่วงซึ่งเป็นช่วงที่ไม่ อยู่ในจุดที่ใช้งาน ยกตัวอย่าง เช่น เทอร์มิสเตอร์ 130 องศาให้เราให้ความร้อน ที่ตัวเซนเซอร์ในช่วงแรกค่าความต้านทานของมันจะลดลงเล็กน้อย ปกติค่าความต้านทานจะอยู่ประมาณ 50 โอห์มที่ 30 องศา แต่เมื่อ

อุณหภูมิที่ตัวเซนเซอร์ตรวจจับได้มีอุณหภูมิประมาณ 115 องศา ค่าความต้านทานของมันจะเพิ่มสูงขึ้น และจะสูงขึ้นเกือบเป็นเส้นตรง เมื่อมีอุณหภูมิที่ตัวจับได้ 125 องศา

จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงที่เป็นแบบไม่คงที่นี้จึงไม่สามารถที่จะนำไปใช้ในการวัดค่าความร้อนได้ เทอร์มิสเตอร์จะถูกนำไปต่อเข้ากับเทอร์มิสเตอร์รีเลย์ ที่มีหน้าที่คอยตรวจจับค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ ว่ามีความต้านทานตามที่กำหนดไว้หรือยังซึ่งปกติ จะอยู่ประมาณ 2700-3500 โอห์ม นั่นก็หมายความว่าเทอร์มิสเตอร์ 130 ที่อุณหภูมิ 130 องศา ตัวมันเองจะมีค่าความต้านทานที่เกินกว่าค่า 2700-3500 โอห์ม นั่นก็หมายความว่าเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 130 องศา ค่าความต้านทานของ เทอร์มิสเตอร์ จะเป็นตัวสั่งให้ เทอร์มิสเตอร์รีเลย์ทริปวงจรออก

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าหากเราต้องการเปลี่ยนจุดทริปของวงจรควบคุมมอเตอร์ให้สูงขึ้นหรือต่ำลง เราต้องทำการเปลี่ยน ชนิดของเทอร์มิสเตอร์ ไม่ใช่ไปปรับแต่งที่ เทอร์มิสเตอร์รีเลย์

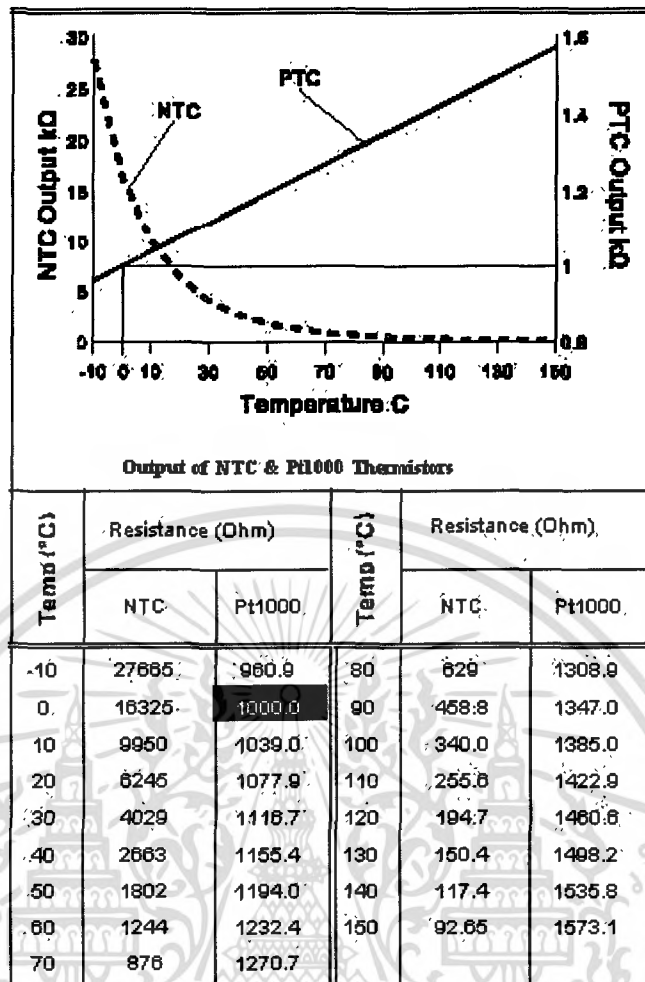
เทอร์มิสเตอร์ประเภท NTC จะมีคุณสมบัติตรงข้ามกับแบบ PTC และให้อัตราการเปลี่ยนแปลงด้านความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ค่อนข้างเกือบคงที่กว่า แต่มักจะถูกใช้ในตัวเซนเซอร์ ประเภทเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทมือถือซะเป็นส่วนใหญ่

เทอร์มิสเตอร์เป็นสารกึ่งตัวนำ สามารถมองเป็นความต้านทานได้ แต่จะขึ้นอยู่กับว่าได้ป้อนสารชนิดใด ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติต่างกัน นั่นคือ เป็นแบบ PTC หรือ NTCสามารถนำมาคำนวณหาอุณหภูมิได้เพียงแต่จะไม่ละเอียด

ลักษณะความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานจะเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล ตามสมการ

$$R_t = R_o \cdot \exp(\beta \cdot (1/T - 1/T_o)) \quad (1)$$

ซึ่งมีหลายเบอร์แต่ละเบอร์ก็มีความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) แตกต่างกันไป ค่าเบต้าก็ต่างกัน



รูปที่ 2.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ ของ NTC และ PTC เบอร์ต่าง ๆ

### 2.3.3 อาร์ทีดี

อาร์ทีดี คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กัน ซึ่งหลักการทำงานของอาร์ทีดีอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก” (Positive Temperature Coefficient: PTC) นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 to 850 องศาเซลเซียส โลหะที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุอาร์ทีดี โดยปกติอาร์ทีดี สามารถแบ่งออกได้ตามวัสดุที่ใช้ทำดังต่อไปนี้

1. แพลทินัม เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด เขียนบอกไว้เป็น PT ได้แก่ PT-10, PT-100, PT-1000 มี Repeatability สูง แต่ Sensitivity น้อย ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับนิกเกิลซึ่งมี Repeatability น้อย แต่ Sensitivity มากและราคาถูกกว่า
2. ทังสเตนมีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพัทธ์สูง มักจะใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง เพราะหากใช้ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นิกเกิล ใช้กับย่านวัตต์อุณหภูมิสูง ๆ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ ทำให้เกิดค่าครีฟต์ กับเวลานอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทำอาร์ทีดีได้แก่ เหล็ก เป็นต้น

เนื่องจากอาร์ทีดีต้องการกำลัง (current source) จากภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนในชิ้นส่วนที่มีความต้านทาน เพราะว่าอาร์ทีดีเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง(แต่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ) จึงเกิดความร้อนซึ่งกลายเป็นพลังงานที่สูญเสียโดยตัวมันเองเป็นค่า  $I^2R$  ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิ ยกตัวอย่างของกรณีนี้ เช่นอุณหภูมิที่วัดจริง 80 องศาเซลเซียส แต่บวกกับความร้อนจากตัวมันเอง 3 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิที่ตัวมันวัดได้เป็น 83 องศาเซลเซียส นั่นคือจะผิดพลาดไป 3 องศาเซลเซียส โดยค่าความผิดพลาดที่วัดได้นี้สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$T = P \times S \quad (2)$$

โดยที่

T: Self Heating Temperature อุณหภูมิที่เกิดความร้อนโดยตัวมันเอง

P:  $I^2R$  power generated,

S : °C/milliwatt ค่าคงที่ในการสูญเสีย (Dissipation Constant) จำนวนพลังงานที่ทำให้อาร์ทีดีมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส

เทคนิคในการวัดอุณหภูมิด้วยอาร์ทีดี ที่นิยมกันมีอยู่ 2 วงจรดังนี้

1. วิธี 2-wire เป็นวิธีที่ง่ายในการต่อวงจร โดยใช้แค่ 2 สายต่อเป็นวงจร กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านอาร์ทีดี และจะมีการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ข้อดีของวิธีนี้มีความร้อนเกิดขึ้นในอาร์ทีดี ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดดังที่กล่าวมาแล้ว

2. วิธี 3-wire เป็นการปรับปรุงจากวิธี 2-wire ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านอาร์ทีดี และจะมีการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม สายเส้นที่สามจะช่วยชดเชยความต้านทานของสายที่เกิดขึ้น ข้อดีของวิธีนี้มีความร้อนเกิดขึ้นในอาร์ทีดี ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดดังที่กล่าวมาแล้ว

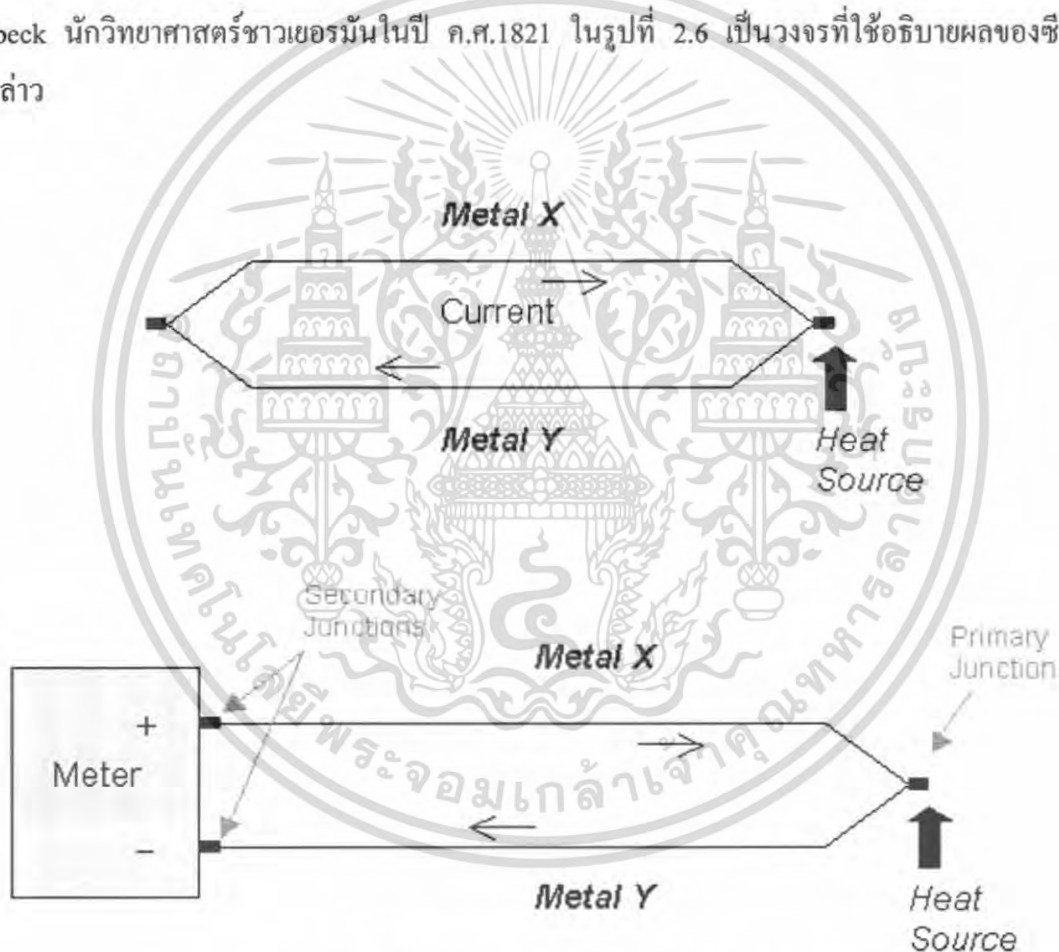
3. วิธี 4-wire เป็นการปรับปรุงจากวิธี 2-wire และ 3-wire ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านอาร์ทีดี และจะมีการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าแต่แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านสายคู่หนึ่ง และ จะมีการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าจากสายอีกคู่หนึ่ง สายทั้งสองคู่จะมีความยาวของสายเท่ากัน ดังนั้นหากนำไปวัดค่าความต้านทานของสายทั้งสองคู่ก็จะเจอสภาพแวดล้อมเหมือนกัน จึงทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผลของความต้านทานของสายถูกกำจัดออกไป วิธีนี้จะช่วยกำจัดความผิดพลาดเนื่องจาก self-heating ดังที่กล่าวมาแล้ว

### 2.3.4 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปที่ 2.6 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คดังกล่าว



รูปที่ 2.6 รูปแสดงผลของปรากฏการณ์ซีเบ็ค

### ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตลอดที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เย็น จึงทำให้อิเล็กทรอนิกส์มีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จะเปลี่ยนแปลงไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

1. ผลของซีเบ็ค (Seebeck Effect) โดยใช้ทฤษฎีโซลิตสแตด เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าวนั้นคือ

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \quad (3)$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบ็ค ซึ่งพบว่า

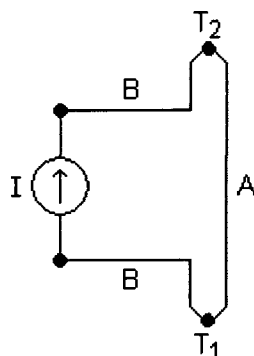
1. ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของ ค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของ โลหะ
2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ก็จะเป็นศูนย์ โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1) \quad (4)$$

เมื่อ  $\alpha$  = ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค; volts/K

$T_1, T_2$  = อุณหภูมิที่จุดต่อ; K

2. ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีเบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน ( $T_2$ ) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น ( $T_1$ ) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก



รูปที่ 2.7 รูปแสดงผลของเพลเทียร์

### คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

**1.ความไว (Sensitivity)** จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง

**2.โครงสร้าง (Construction)** โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริก จึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น(peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก 10 mm ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด 30 mm หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

**3.ย่านการใช้งาน (Range)** ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

**4. เวลาตอบสนอง (Time Response)** เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

**5.การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)** ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

## การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

### 1.เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

ข้อดีของแบบ S

- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง (Oxidizing)
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (Inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาได้ง่าย ๆ
- นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ -50 ถึง ประมาณ 1700 องศาเซลเซียส
- หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
- ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74 องศาเซลเซียส) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43 องศาเซลเซียส) ตามมาตรฐาน IPTS 68

ข้อเสียของแบบ S

- ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
- ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (Reducing)
- ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum)
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

### 2.เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

ข้อดีของแบบ R

- ให้แรงเคลื่อนทางค่านเอาท์พุทสูงกว่าแบบ S
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600 องศาเซลเซียส
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง -50 ถึงประมาณ 1700 องศาเซลเซียส
- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี

ส่วนลักษณะข้อเสียเช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่ม

อุณหภูมิต่ำกว่า 540 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

ข้อดีของแบบ B

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600 องศาเซลเซียส
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750 องศาเซลเซียส
- แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- เหมาะกับการใช้งานในสถานะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสถานะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (Linearity) ดี

ข้อเสียของแบบ B

- ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- ไม่เหมาะกับสถานะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- ไม่เหมาะกับสถานะที่เป็นสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S
- ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (Double value region) จากอุณหภูมิในช่วง 0-42 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42 มิลลิโวลต์
- ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น ๆ

**4.เทอร์โมคัปเปิลแบบ J** พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลความคุ้มทุนก็ลดลงไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลราคาถูกลง จึงใช้วัสดุธาตุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสีตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวก จะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาว ทั้งตัวจะเป็นสีดำ

ความแน่นอนตามมาตรฐาน BS 1797 Part 30, 1993 ได้แก่

$$1. \text{ Class 1} = -40^{\circ}\text{C ถึง } +750^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \times t \text{ หรือ } \pm 1.5^{\circ}\text{C}$$

$$2. \text{ Class 2} = -40^{\circ}\text{C ถึง } +750^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \times t \text{ หรือ } \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

เมื่อ  $t$  คือ อุณหภูมิจริง

ข้อดีของแบบ J

- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องช่วงประมาณ -210 ถึง 1200 องศาเซลเซียส
- เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่ งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่

ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบ J

- วัสดุอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
- ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
- หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็ก ด้วยอัตราสูง
- หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

**5.เทอร์โมคัปเปิลแบบ K** ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม้นบริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้

ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้
2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200 องศาเซลเซียส ถึง 600 องศาเซลเซียส) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์ีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้
3. ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใช้โคบอลต์เป็น โลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรมกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270 องศาเซลเซียส ถึง +1,370 องศาเซลเซียส

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class 1 =  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+1,000^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \times t$  หรือ  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

2. Class 2 =  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+1,200^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \times t$  หรือ  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

3. Class 1 =  $-200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+40^{\circ}\text{C} \pm 0.015 \times t$  หรือ  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำกรวัด

รหัสสี่สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,1993

(รหัสสี่ตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชนิดแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียวส่วนสายชนิดเซอสิญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 1,350 องศาเซลเซียส
- สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน ไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ)
- หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรง

เคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

## 6.เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

ข้อดีของแบบ T

- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
- ให้ความแม่นยำในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ความแม่นยำจะเป็น  $\pm 1\%$ )
- มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิ
- การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ งานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิง
- วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง  $-185$  ถึง  $300^{\circ}\text{C}$  และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง  $-250$  ถึง  $400$  องศาเซลเซียส
- ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

ข้อเสียของแบบ T

- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่น ๆ
- หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า  $370$  องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดออกไซด์มาก
- ไม่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
- เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
- คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น

## 7.เทอร์โมคัปเปิลชนิด E

ข้อดีของแบบ E

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800 องศาเซลเซียส
- คุณสมบัติอื่น ๆ คล้ายกับแบบ K

การแก้ไขให้ระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลให้ทำงานได้ดีขึ้น ต้องปฏิบัติดังนี้

1. ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่พ่วงเอาความร้อนออกจากพื้นที่การวัดเข้ามา

2. ถ้าต้องการใช้สายขนาดเล็ก ๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัด และใช้สายขยาย

(extension wire) ในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลีกเลียงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
4. เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาว ๆ ให้ต่อซิลด์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดิจิตอล โวลต์มิเตอร์และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิเดเกลียว
5. หลีกเลียงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลางสาย
6. พยายามเลือกสายเทอร์โมคัปเปิลในพิสัยอุณหภูมิของมัน
7. ป้องกันวงจรแปลง integrate A/D จากการรบกวน
8. ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสายน้อย ๆ
9. ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก่า ๆ ไว้ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วง ๆ

## 2.4 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี

ปัจจุบันมีการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้วัดอุณหภูมิ ซึ่งชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น และขยายระดับของสัญญาณขึ้นไปอยู่ในรูปของไอซี

### 2.4.1 ตัวอย่างตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี

- ไอซีวัดอุณหภูมิ LM 335 ให้แรงดันเอาต์พุต 1 มิลลิโวลต์ ต่อ องศาเซลวิน

รูปที่ 2.8 รูปตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี LM335

- ไอซีวัดอุณหภูมิ LM 34 ให้แรงดันเอาต์พุต 1 มิลลิโวลต์ ต่อ องศาฟาเรนไฮด์

รูปที่ 2.9 รูปตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี LM34

- ไอซีวัดอุณหภูมิ AD592 ให้กระแสเอาต์พุต 1 ไมโครแอมป์ ต่อ องศาเซลวิน

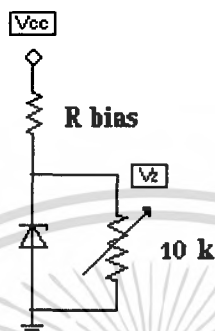


รูปที่ 2.10 รูปตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซี AD592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการที่ 9 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาสัมบูรณ์หรือ 0 K นี้จะได้ค่า  $V_z$  มีค่าเป็น 0 V แต่เนื่องจากเมื่อซื้อไอซีมาแล้วลองทำการวัดค่า  $V_z$  ที่อุณหภูมิ 0 องศาสัมบูรณ์ค่า  $V_z$  ที่วัดได้อาจจะไม่ได้มีค่าเป็น 0 V พอดีอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ดังนั้น ไอซีนี้จึงมีขา Adjust ไว้สำหรับปรับค่า  $V_z$  นี้ให้ มีค่าเป็น 0 V ที่อุณหภูมิ 0 องศาสัมบูรณ์ค่า โดยการ Adjust ค่านี้จะสามารถทำได้โดยการต่อขา Adjust ของไอซีเข้ากับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่มีขนาด 10 k ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.12 รูปแสดงวงจรการ Adjust ค่าของไอซี LM 335

เมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 2.12 แล้วทำการ Adjust ไอซีได้โดยการวัดค่าอุณหภูมิห้องเมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิได้แล้วแทนด้วยตัวแปร  $T_c$  นำค่าที่ได้นี้ไปเข้าสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า  $V_z$  เมื่อได้ค่า  $V_z$  แล้วมาทำการปรับค่า VR ในวงจรไปจนกว่าจะได้ค่าเอาต์พุต  $V_z$  มีค่าเท่ากับค่าที่ได้คำนวณไว้โดยขณะนั้นค่า  $T_c$  ต้องมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ Adjust

### 2.5.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว LM335

ระบบตรวจจับอุณหภูมิใดๆ ก็ตามความร้อนใดๆ ที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ตรวจจับจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิของมัน ตลอดจนค่าแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้นสำหรับ LM 335 นั้นการที่จะให้ทำงานที่กระแสใดๆ ซึ่งเพียงพอที่จะขับให้ทำงานได้ เมื่อคำนวณค่าของ R จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขนานกับไอซี สำหรับที่กระแสเอาต์พุตใดๆ โดยกระแสประมาณ 100  $\mu$ A จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ไอซีนี้จะทำงานได้เป็นปกติ

### 2.5.2 คุณสมบัติเฉพาะตัว

ในวงจรต่างๆ ไปของ LM335 ซึ่งไม่ได้ปรับค่าความถูกต้องไว้ให้ทำงานที่กระแส 1 mA ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส (สูงสุด 6 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสหรือ 4 องศาเซลเซียสตลอดย่านการทำงาน เมื่อได้มีการ Adjust ไอซีให้มีความถูกต้องไว้แล้ว จะได้ค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิจำกัดไว้เป็น 2 องศาเซลเซียสและความไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ากระแส

1 mA เท่ากับ 0.3 องศาเซลเซียส ตลอดย่านในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ ต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาทีที่จะมีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสุดท้ายหลังจากที่อุณหภูมิได้เปลี่ยนไป ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำที่กวนให้เคลื่อนที่ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงภายในเวลาประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของกระแสจะเท่ากับ 1 วินาที ตามที่ออกแบบไว้) อุปกรณ์จะคงที่อยู่ภายในช่วง 0.2 องศาเซลเซียสตลอด 1000 ชั่วโมง ถึงแม้ที่อุณหภูมิ 725 องศาเซลเซียส ค่าไดนามิกส์อิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 โอห์ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 kHz แต่จะมีค่าความเพิ่มขึ้น 20 ถึง 30 โอห์ม ที่ความถี่ 100 kHz

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในส่วนของ Temperature sensor LM355 คือจากวงจรในรูปที่ 2.12 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไบอัสกลับให้ซีเนอร์ไดโอด จะเกิดกระแสไฟฟ้าซีเนอร์  $I_z$  ซึ่งไหลผ่าน LM335 อยู่ในช่วง  $5 \text{ mA} > I_z > 400 \mu\text{A}$  และจะให้ค่าความถูกต้องสูงสุดที่  $I_z < 1 \text{ mA}$  ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหา  $R_{\text{bias}}$  ได้จาก

$$R_{\text{bias}} = (V_{\text{supply}} - V_{\text{nominal}}) / 1 \text{ mA} \quad (2.10) \quad (10)$$

เมื่อ  $R_{\text{bias}}$  คือความต้านทานอนุกรมมีหน่วยเป็น  $\Omega$

$V_{\text{supply}}$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้วงจร สำหรับโครงการนี้เลือกใช้ที่ค่า 5 Vdc

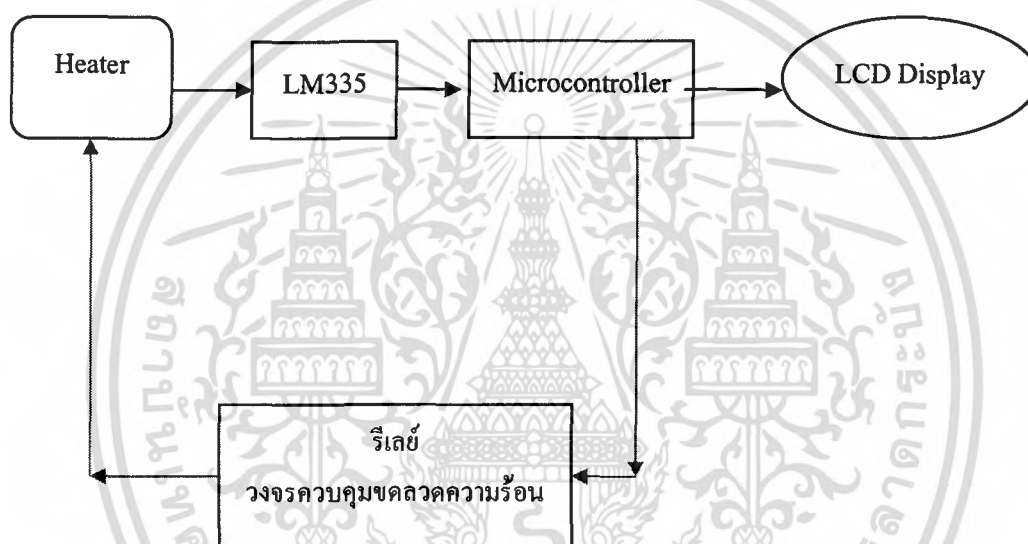
$V_{\text{nominal}}$  หรือ  $V_z$  คือแรงดันไฟฟ้าใช้งานของ LM335 มีหน่วยเป็น V

## บทที่ 3

### หลักการออกแบบ

#### 3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

กระบวนการของโครงการนี้ คือ ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดทำความร้อนของกาต้มน้ำ ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบแรงดัน ลักษณะของโครงการนี้คือ กำหนดอุณหภูมิเป้าหมาย หรืออุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นค่าอุณหภูมิที่ได้จากตัววัดอุณหภูมิจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ เพื่อจะได้สั่งให้รีเลย์ทำงานควบคุมขดลวดความร้อนต่อไป



**รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ**

##### 3.1.1 Heater

ส่วนของ Heater ในการทำโครงการนี้ใช้กาต้มน้ำในการจำลองเตาหลอม หรือ หม้อต้มน้ำในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ แทน เป็นกาต้มน้ำที่ใช้ไฟเลี้ยง 220 โวลต์

##### 3.2.2 LM 335

LM 335 ใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งมีช่วงการวัดอยู่ระหว่าง 0-100 องศาเซลเซียส และส่งค่าที่วัดได้ในรูปสัญญาณดิจิทัลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบต่อไป

### 3.3.3 ATmega8L

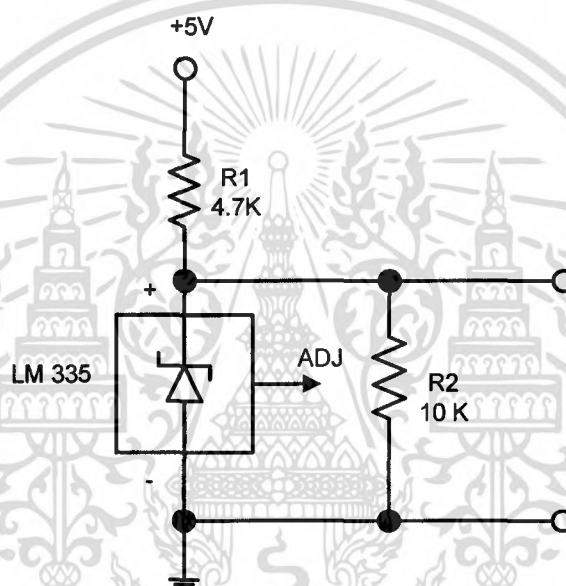
ATmega8L ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลการทำงานและเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากตัวตรวจวัดอุณหภูมิ และส่งค่าคำสั่งเพื่อให้รีเลย์ทำงานควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กาดำน้ำ

### 3.3.4 LCD

LCD ในระบบนี้ทำหน้าที่แสดงผลอุณหภูมิขณะนั้น และแสดงอุณหภูมิสูงสุด หรือ ต่ำสุด ตามที่ตั้งค่ากำหนดไว้

## 3.2 วงจรตรวจวัดและแสดงผลอุณหภูมิ

- ส่วนวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแสดงวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ

ใช้ไอซี LM 335 ตรวจวัดอุณหภูมิ และส่งข้อมูล ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ โดยส่งข้อมูลไปยังพอร์ต PC0

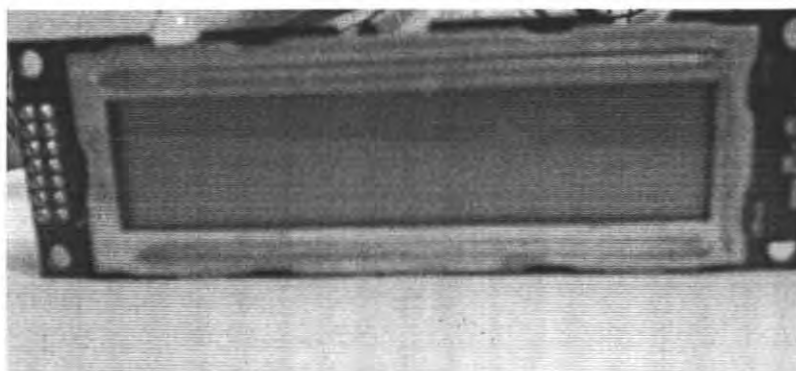
- ส่วนวงจรตั้งค่า

ในวงจรการตั้งค่าสามารถตั้งค่าได้ 2 ค่า คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ และค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องการ โดยการกดปุ่มที่ต่อมาให้ โดยข้อมูลทั้ง 2 ค่าจะถูกส่งไปยังพอร์ต PC4 และ PC5 ตามลำดับ

- ส่วนการแสดงผลใช้ LCD ในการแสดงผล

ในภาคการแสดงผลเมื่อเปิดเครื่อง บรรทัดแรกจะแสดงค่าอุณหภูมิขณะนั้น และบรรทัดที่สองจะแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุด และ อุณหภูมิต่ำสุด และในบรรทัดที่สองเช่นกันเมื่อวงจรทำงาน ถ้าเกิดมีอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดจะมีตัวอักษร M ขึ้น และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดจะมีตัวอักษร L ขึ้น

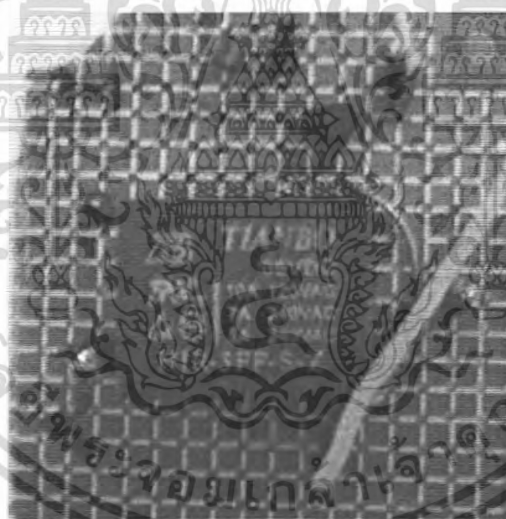
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงส่วนการแสดงผล

### 3.3 วงจรรีเลย์ควบคุมขดลวดความร้อน

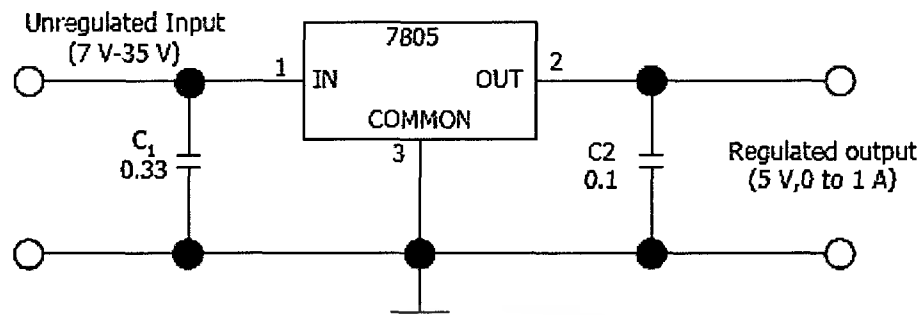
ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติใช้รีเลย์เบอร์ HIR-3FF-S-Z เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้แก่กาต้มน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดรีเลย์จะไม่ทำงาน ทำให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่กาต้มน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ รีเลย์จะทำงานตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่กาต้มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแสดงรีเลย์ที่ใช้ในการควบคุมขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 5 โวลต์



รูปที่ 3.5 รูปแสดงวงจรกำเนิดแรงดัน 5 โวลต์

จากรูปที่ 3.5

C1 จะทำ หน้าทีลดผลของ Stray Inductance ที่เกิดจากสายไฟ ซึ่งจะมีความจำ เป็นมาก ในกรณี ที่วงจร Regulator อยู่ห่างจากวงจร Unregulated Source มาก

ส่วน C2 ช่วยในการป้องกัน การตอบสนองสัญญาณ (transient Response) ที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โหลดแบบทันทีทันใด

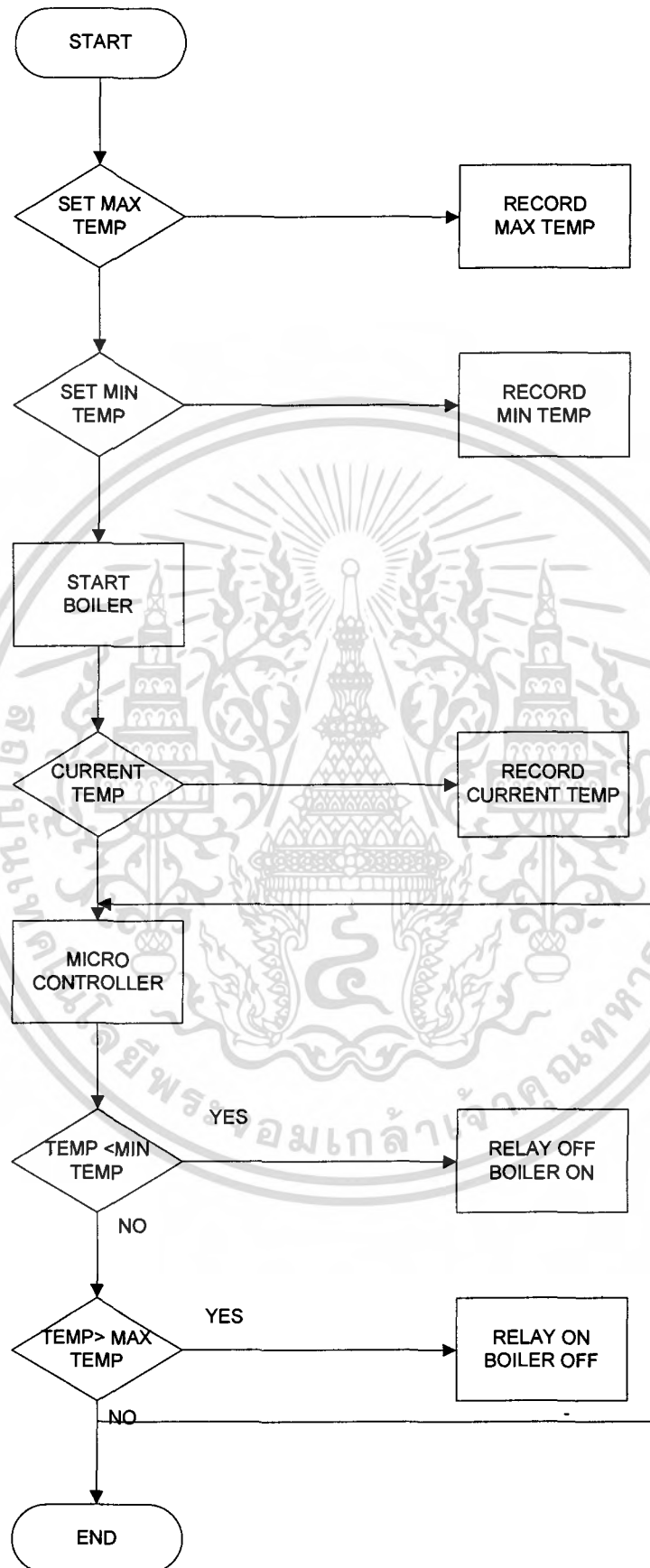
วงจรดังกล่าว ใช้ในการรักษาแรงดันที่จะจ่ายให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีเลย์ และ LCD มี ค่าคงที่ที่ 5 โวลต์

### 3.5 วิธีการใช้งานชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ

1. ป้อนไฟเลี้ยงให้กับวงจร LCD จะแสดงผลอุณหภูมิขณะนั้น อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่ตั้งไว้เป็นค่าเริ่มต้น โดยปกติจะแสดงอุณหภูมิสูงสุดที่ 70 องศา และ ต่ำสุดที่ 50 องศา ตามลำดับ
2. ป้อนค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยกดปุ่มที่มีเครื่องหมายวงกลม โดยเมื่อกดปุ่ม 1 ครั้ง จะเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียส
3. ป้อนค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยกดปุ่มที่ไม่มีเครื่องหมาย โดยเมื่อกดปุ่ม 1 ครั้ง จะเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียสเช่นกัน
4. หากต้องการตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุด หรือต้องการเริ่มทำงานใหม่สามารถกดปุ่มรีเซ็ต เพื่อเริ่มทำงานใหม่ หรือ ตั้งค่าอุณหภูมิใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 3.7 เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. รีเลย์ ทำหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับกาต้มน้ำ โดยการรับคำสั่งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซีเบอร์ LM 335 ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำในกาต้มน้ำ ณ ปัจจุบัน เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิสูงสุด หรือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ตั้งไว้ และควบคุมการทำงานของรีเลย์ต่อไป
3. ปุ่มตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด และ อุณหภูมิต่ำสุด โดยปุ่มที่ใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ ปุ่มที่มีเครื่องหมายวงกลม โดยการตั้งค่าทั้งอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด ทำได้โดยการกดปุ่มแต่ละครั้ง จะทำให้อุณหภูมิที่ต้องการตั้งค่าสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส
4. จอแสดงผล ใช้แสดงอุณหภูมิ ณ ปัจจุบัน อุณหภูมิสูงสุด และ อุณหภูมิต่ำสุด และแสดงการเตือนเมื่ออุณหภูมิ ณ ปัจจุบันมีค่าต่ำกว่า หรือ สูงกว่า ช่วงอุณหภูมิที่กำหนดไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง

การทดลองที่ 1 คือ การทดลองส่วนการวัดค่าอุณหภูมิของวงจรวัดอุณหภูมิด้วยไอซี LM35 โดยทำการใช้ไอซีดังกล่าว วัดน้ำที่กำลังทำการต้ม โดยเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อ น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส ไอซี LM 335 จะมีแรงดันไฟเอาต์พุต เพิ่มขึ้น 10 มิลลิโวลต์ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เอาต์พุตจะเท่ากับ 0 โวลต์ แต่ถ้าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เอาต์พุตจะเท่ากับ 250 มิลลิโวลต์ ผลการทดลองได้จากการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวัดที่ขาของไอซี

การทดลองที่ 2 คือการทดลองส่วนการทำงานของวงจรควบคุมขดลวดความร้อน โดยทำการดูว่าเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิอ้างอิงไว้ แล้วทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มหรือลดแล้ว กาดม้ น้ำมีการทำงานหรือไม่

#### 4.1 ผลการทดลองของวงจรวัดอุณหภูมิ

การทดลองครั้งที่ 1 ทำการบันทึกค่าทุก อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

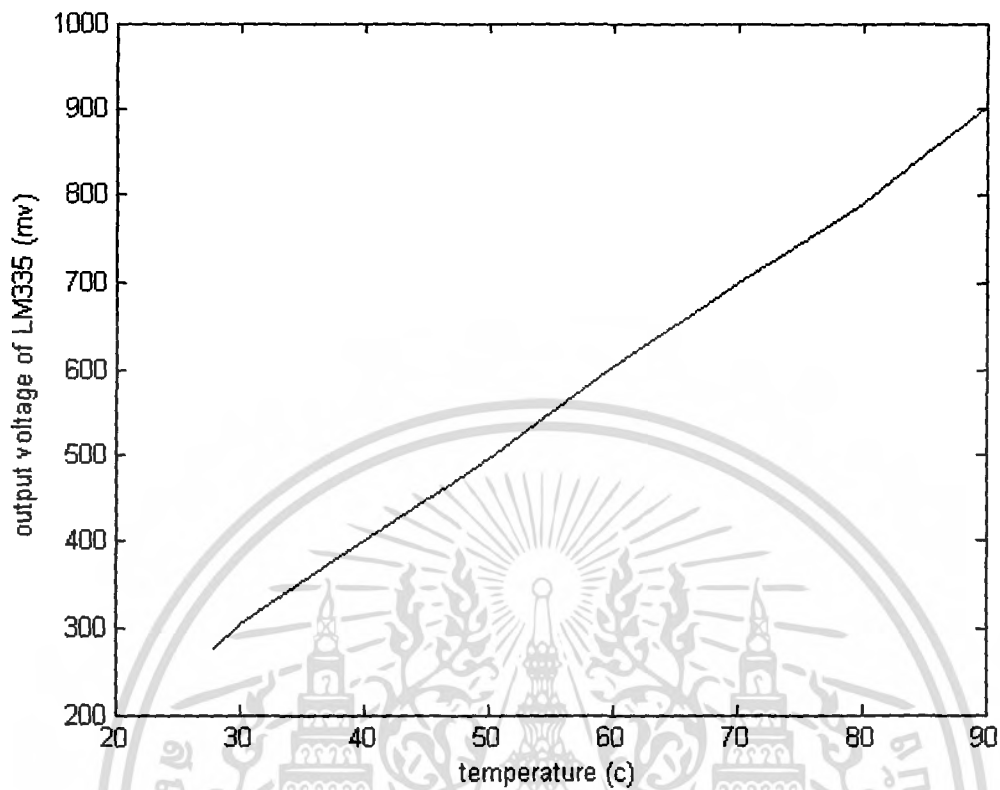
##### ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 1

ค่าอุณหภูมิน้ำที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	ค่าแรงดันเอาต์พุตของไอซี LM335 (มิลลิโวลต์)
28-อุณหภูมิเริ่มต้น	278
30	300
40	398
50	499
60	600
70	695
80	803
90	890

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



และนำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟได้ดังรูป



**รูปที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 2**

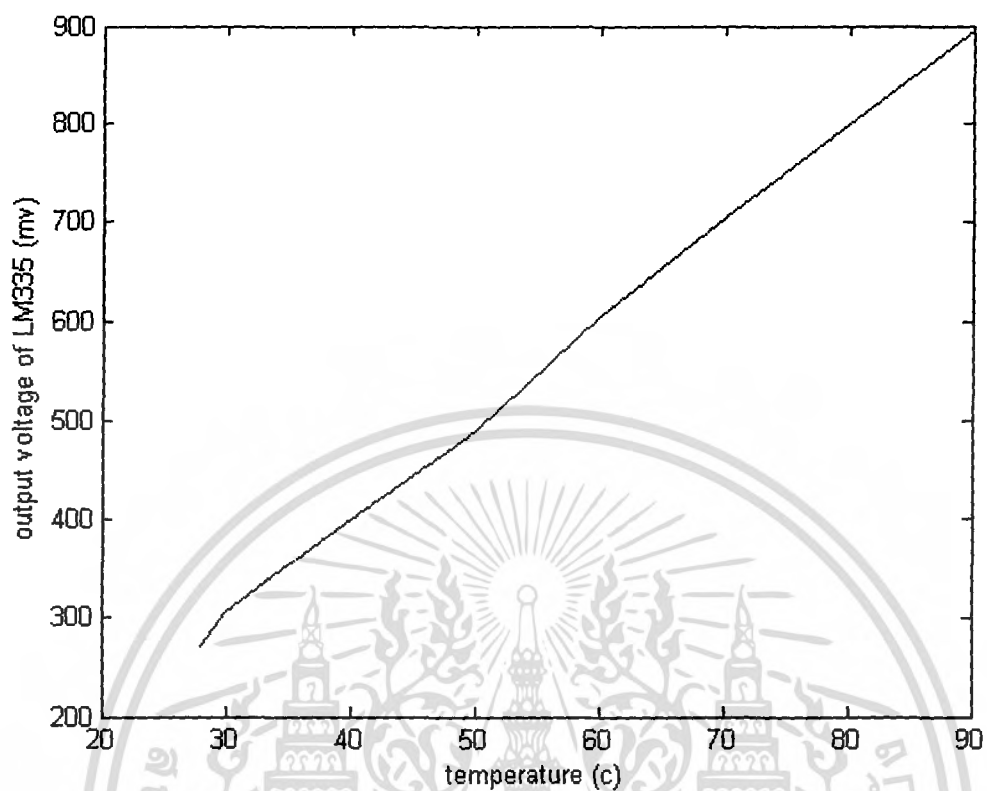
การทดลองครั้งที่ 3 ทำการบันทึกค่าทุก อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 3**

ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	ค่าแรงดันเอาต์พุตของไอซี LM 335 (มิลลิโวลต์)
28-อุณหภูมิเริ่มต้น	270
30	305
40	400
50	490
60	606
70	705
80	800
90	895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟได้ดังรูป



**รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิในการทดลองครั้งที่ 3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลองของวงจรควบคุมขดลวดความร้อน

การทดลองครั้งที่ 1 ทำการตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิต่ำสุด และ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิสูงสุด ทำการต้มน้ำ จากนั้น สังเกตการทำงานของกาต้มน้ำว่าทำงานหรือไม่ (ทำงาน = มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ/ ไม่ทำงาน = ไม่มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อนของการทดลองครั้งที่ 1

ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	การทำงานของกาต้มน้ำ
28-อุณหภูมิเริ่มต้น	ทำงาน
30	ทำงาน
40	ทำงาน
50	ทำงาน
60	ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
90	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
60	ไม่ทำงาน
50	ไม่ทำงาน
40	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2 ทำการตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิต่ำสุด และ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิสูงสุด ทำการต้มน้ำ จากนั้นสังเกตการทำงานของกาต้มน้ำว่าทำงานหรือไม่ (ทำงาน = มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ/ ไม่ทำงาน = ไม่มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ)

**ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจรควบคุมอุณหภูมิความร้อนของการทดลองครั้งที่ 2**

ค่าอุณหภูมิน้ำที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	การทำงานของกาต้มน้ำ
28-อุณหภูมิเริ่มต้น	ทำงาน
30	ทำงาน
40	ทำงาน
50	ทำงาน
60	ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
90	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
60	ไม่ทำงาน
50	ไม่ทำงาน
40	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 3 ทำการตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิต่ำสุด และ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิสูงสุด ทำการต้มน้ำ จากนั้นสังเกตการทำงานของกาต้มน้ำว่าทำงานหรือไม่ (ทำงาน = มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ/ ไม่ทำงาน = ไม่มีการจ่ายกระแสไฟให้กาต้มน้ำ)

**ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวงจรควบคุมขนาดความร้อนของการทดลองครั้งที่ 3**

ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)	การทำงานของกาต้มน้ำ
28-อุณหภูมิเริ่มต้น	ทำงาน
30	ทำงาน
40	ทำงาน
50	ทำงาน
60	ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
90	ไม่ทำงาน
80	ไม่ทำงาน
70	ไม่ทำงาน
60	ไม่ทำงาน
50	ไม่ทำงาน
40	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ ATmega8 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลค่าในการทำงานของระบบ ซึ่งเมื่อทำการทดลองดัดน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะสามารถทำได้อย่างรวดเร็วแต่ในทางกลับกัน ถ้าเมื่ออุณหภูมิเกินกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ รีเลย์จะตัดการทำงานของกาต้มน้ำ และต้องใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิน้ำลดต่ำกว่าอุณหภูมิค่าสูงสุดที่ตั้งไว้ เนื่องจากไม่มีระบบช่วยทำให้อุณหภูมิน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว

### 5.2 วิจารณ์การทดลอง

การทำโครงการนี้ต้องทำการศึกษาความรู้พื้นฐานที่จำเป็นได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียน โปรแกรม, การตรวจวัดอุณหภูมิ, การใช้รีเลย์ควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อน ซึ่งสามารถประยุกต์กับระบบควบคุมแบบอื่น ๆ และสามารถนำไปประยุกต์ในสาขาที่เกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดลองวงจรวัดอุณหภูมิ ต้องการทดสอบค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซีเบอร์ LM335 กราฟผลการทดลองที่ได้ออกมาในลักษณะสมการเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎี แต่กราฟผลการทดลองที่ได้ไม่คงที่ เนื่องจากในวงจรเกิดสัญญาณรบกวนเนื่องมาจากความยาวของสายสัญญาณที่ส่งจากตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไอซีเบอร์ LM335 ทำให้ผลการทดลองนั้นยังไม่คงที่มากนัก

การทดลองต่อมา คือ การทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อน จะเห็นว่าการทำงานของวงจรเป็นไปตามปกติของคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ รีเลย์จะมีสถานะเป็น off เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กาต้มน้ำ ทำให้ผลการทดลองที่ได้คือ กาต้มน้ำทำงาน และเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงกว่าที่ตั้งไว้ รีเลย์จะมีสถานะ on เพื่อตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กาต้มน้ำ ทำให้ผลการทดลองที่ได้คือ กาต้มน้ำไม่ทำงาน

### 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

ได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ เพราะได้นำทฤษฎีทางระบบควบคุมมาใช้โดยตรงทั้งความรู้เกี่ยวกับวงจรในภาคต่าง ๆ ได้ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดจากการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอก ทำให้ได้ฝึกการวางแผนอย่างเป็นระบบ และมีวิธีคิดแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

#### 5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการ

เนื่องจากขดลวดความร้อนในกาต้มน้ำเมื่อร้อนจัดต้องใช้เวลาในการคืนสภาพ และไอซีที่ใช้วัดนั้นไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงมากนัก รวมทั้งเมื่อใช้วัดอุณหภูมิที่สูง ๆ จะเกิดการสะสมความร้อนทำให้ค่าที่ได้ที่ส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้และใช้เวลาในการคืนสภาพนานเช่นกัน

#### 5.5 แนวทางการพัฒนาแก้ไขและการปรับปรุง

ในการทำโครงการนี้ยังขาดความสมบูรณ์และมีข้อบกพร่องอยู่พอสมควร เราสามารถนำไอซีวัดอุณหภูมิ หรือตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่แม่นยำกว่านี้ และมีช่วงการวัดที่กว้างกว่านี้เพื่อใช้ในระบอบอื่น ๆ ได้ เช่น เทอร์โมคัปเปิล รวมทั้งการรับค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ต้องการตั้งสามารถทำให้ตั้งค่าได้ง่ายกว่านี้ เช่น การใช้คีย์แพด หรือคอมพิวเตอร์ในการตั้งค่า



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Electronic Engineering, Mahanakorn University of Technology. “Datasheet” [Online]. Available: <http://www.ee.mut.ac.th/datasheet/>. 2007
- [2] Damrong Kalawdee, “Electronic Lecture” [Online]. Available: [https://fivedots.coe.psu.ac.th/~kdamrong/lecture/sst/sst\\_slide09temp/index.htm](https://fivedots.coe.psu.ac.th/~kdamrong/lecture/sst/sst_slide09temp/index.htm). 2007
- [3] Omegatron. “Wikipedia Commons” [Online Available]: <http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Omegatron/Gallery>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

## โปรแกรมระบบควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//ICC-AVR application builder : 25/1/2008 14:22:00
```

```
// Target : M8
```

```
// Crystal: 4.0000Mhz
```

```
//portd => data lcd
```

```
//portb1 = rs
```

```
//portb2 = E
```

```
//portb5 = relay
```

```
#include <iom8v.h>
```

```
#include <macros.h>
```

```
//#include "inoutport.h"
```

```
int value,max,min;
```

```
const unsigned char hi[]={1,2,4,8,16,32,64,128};
```

```
const unsigned char low[]={0xfe,0xfd,0xfb,0xf7,0xef,0xdf,0xbf,0x7f};
```

```
void pbout(char pin,char logic)
```

```
{
  if(logic)
```

```
{
    PORTB=PORTB|hi[pin];
```

```
}
```

```
else
```

```
{
    PORTB=PORTB&low[pin];
```

```
}
```

```
}
```

```
void port_init(void)
```

```
{
```

```
PORTB = 0x00;
```

```
DDRB = 0xff;//all output
```

```
PORTC = 0x7F; //m103 output only
```

```
DDRC = 0x00; //all input
```

```
PORTD = 0x00;
```

```
DDRD = 0xff;//all output
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

//ADC initialize

// Conversion time: 416uS

void adc_init(void)
{
    ADCSR = 0x00; //disable adc
    ADMUX = 0x00; //select adc input 0
    ACSR = 0x80;
    ADCSR = 0xEF;
}

##pragma interrupt_handler adc_isr:iv_ADC
#pragma interrupt_handler adc_isr:15
void adc_isr(void)
{
    //conversion complete, read value (int) using...
    value=ADCL; //Read 8 low bits first (important)
    value|=(int)ADCH << 8; //read 2 high bits and shift into top byte
}

//call this routine to initialize all peripherals
void init_devices(void)
{
    //stop errant interrupts until set up
    CLI(); //disable all interrupts
    port_init();
    adc_init();
    MCUCR = 0x00;
    GICR = 0x00;
    TIMSK = 0x00; //timer interrupt sources
    SEI(); //re-enable interrupts
    //all peripherals are now initialized
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void delay(int z)
{
unsigned char zz;
for(z=z;z>0;z--)
{
for(zz=0;zz<200;zz++)
{
zz=zz;
}
}
}

```

```

void check(void)

```

```

{
if((PINC&hi[5])==0)
{
max++; if(max>120){max=0;}
while((PINC&hi[5])==0);
delay(5);
}
if((PINC&hi[4])==0)
{
min++; if(min>120){min=0;}
while((PINC&hi[4])==0);
delay(5);
}
}
}

```

```

void clock(void)

```

```

{
//pin e
//portd => data lcd
//portb1 = rs
//portb2 = E

```

```

check();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pbout(2, 1);
delay(10);
pbout(2, 0);
delay(10);
check();
}

void com(char x,unsigned char dat)
{
//pin Rs
if(x)
{
pbout(1, 1);
}
else
{
pbout(1, 0);
}
PORTD=dat;
clock();
check();
}

void main(void)
{
int temp;
int xx;
init_devices();
delay(500);
max=70;min=50;
com(0,0x38);
com(0,0x01);
com(0,0x06);
com(0,0x0c);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

st: temp=((value*0.488)-273)*10; //this line is ok
    com(0,0x80);
    com(1,'T');com(1,'e');com(1,'m');com(1,'p');com(1,' ');com(1,'i');com(1,'s');com(1,' ');
xx=(temp/1000);
com(1,xx+0x30);
xx=(temp%1000)/100;
com(1,xx+0x30);
xx=(temp%100)/10;
com(1,xx+0x30);
com(1,' ');
xx=(temp%10);
com(1,xx+0x30);
com(1,'*');com(1,'C');
//show max,min
check();
com(0,0xc0);
com(1,'m');com(1,'a');com(1,'x');
xx=(max/100);
com(1,xx+0x30);
xx=((max%100)/10);
com(1,xx+0x30);
xx=(max%10);
com(1,xx+0x30);
    check();
com(1,' ');com(1,'m');com(1,'i');com(1,'n');
xx=(min/100);
com(1,xx+0x30);
xx=((min%100)/10);
com(1,xx+0x30);
xx=(min%10);
com(1,xx+0x30);
check();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(temp>(max*10))
{
    pbout(5, 1); //on relay
    com(0,0xcF);
    com(1,'M');
}
if(temp<(min*10))
{
    pbout(5, 0); //off relay
    com(0,0xcF);
    com(1,'L');
}
goto st;
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

คำสั่ง LM 335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

May 1999

**National Semiconductor**

## LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

**General Description**

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/K. With less than 1 $\Omega$  dynamic impedance the device operates over a current range of 400  $\mu$ A to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

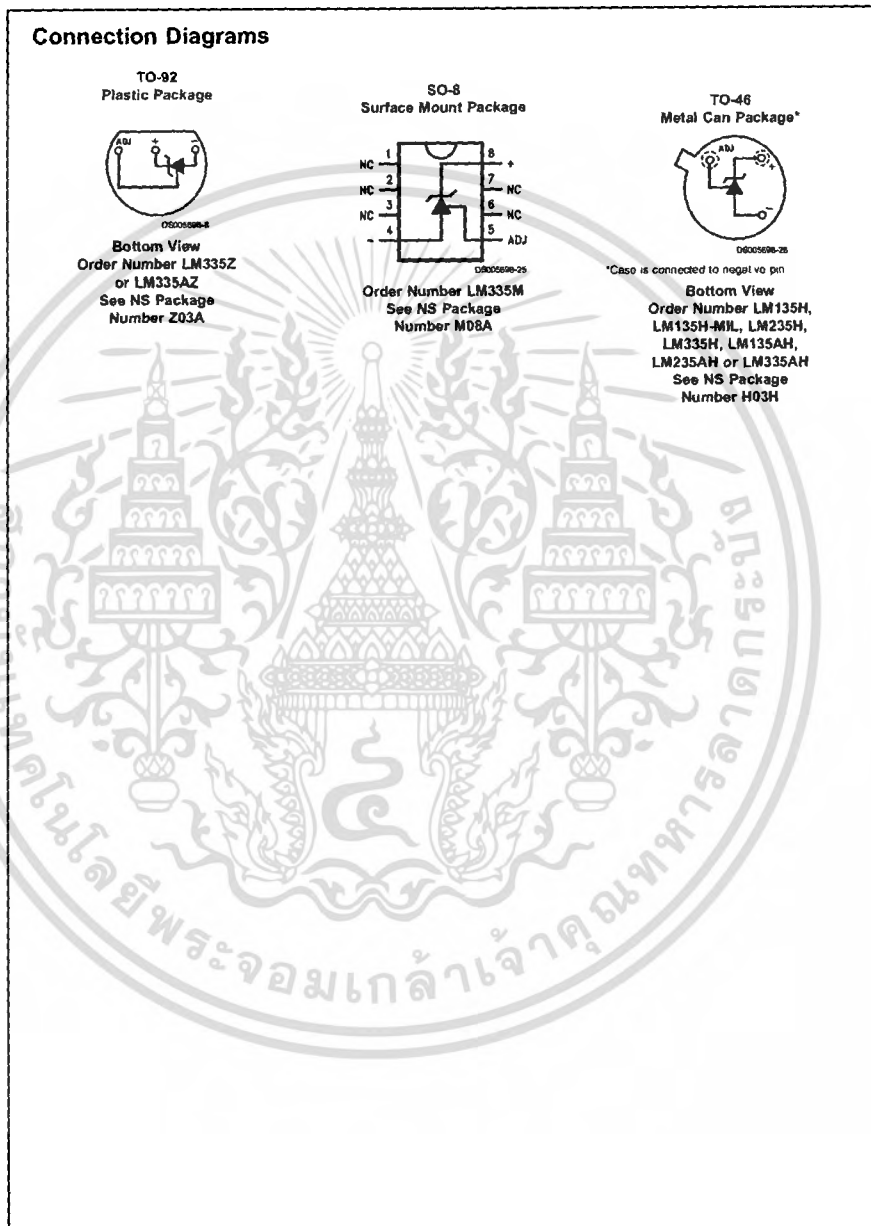
**Features**

- Directly calibrated in Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400  $\mu$ A to 5 mA
- Less than 1 $\Omega$  dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

**Schematic Diagram**

DS005598-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Electrical Characteristics** (Note 1) (Continued)

Note 1. Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions self heating must be considered.

Note 2. Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease into expected life of the device.

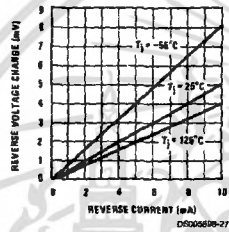
Note 3.

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
$\theta_{JA}$ (junction to ambient)	202 C/W	400 C/W	165 C/W
$\theta_{JC}$ (junction to case)	170 C/W	N/A	N/A

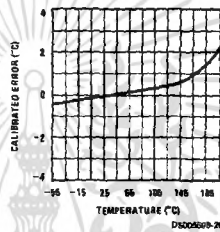
Note 4. Refer to RETS135H for military specifications.

**Typical Performance Characteristics**

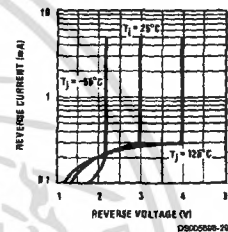
Reverse Voltage Change



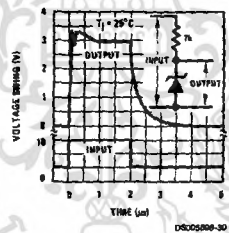
Calibrated Error



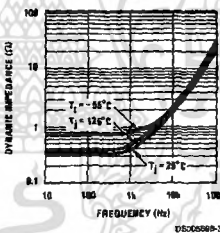
Reverse Characteristics



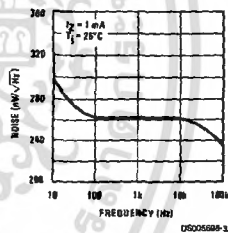
Response Time



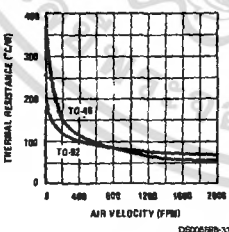
Dynamic Impedance



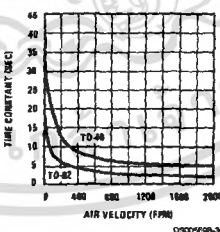
Noise Voltage



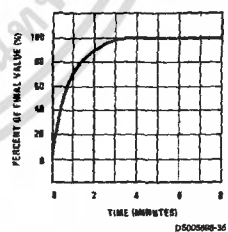
Thermal Resistance Junction to Air



Thermal Time Constant



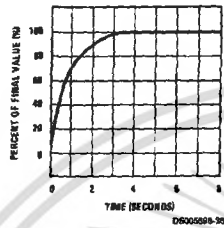
Thermal Response in Still Air



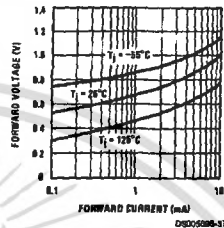
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Typical Performance Characteristics** (Continued)

**Thermal Response in Stirred Oil Bath**



**Forward Characteristics**



**Application Hints**

**CALIBRATING THE LM335**

Included on the LM335 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM335 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM335 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0 K (-273.15 C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T<sub>0</sub> is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM335 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

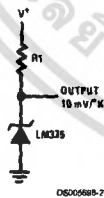
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

**WATERPROOFING SENSORS**

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

**Typical Applications**

**Basic Temperature Sensor**



DS00559B-2

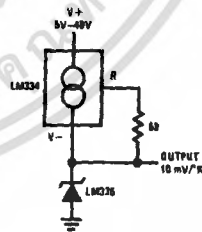
**Calibrated Sensor**



\*Calibrate for 2.982V at 25 C

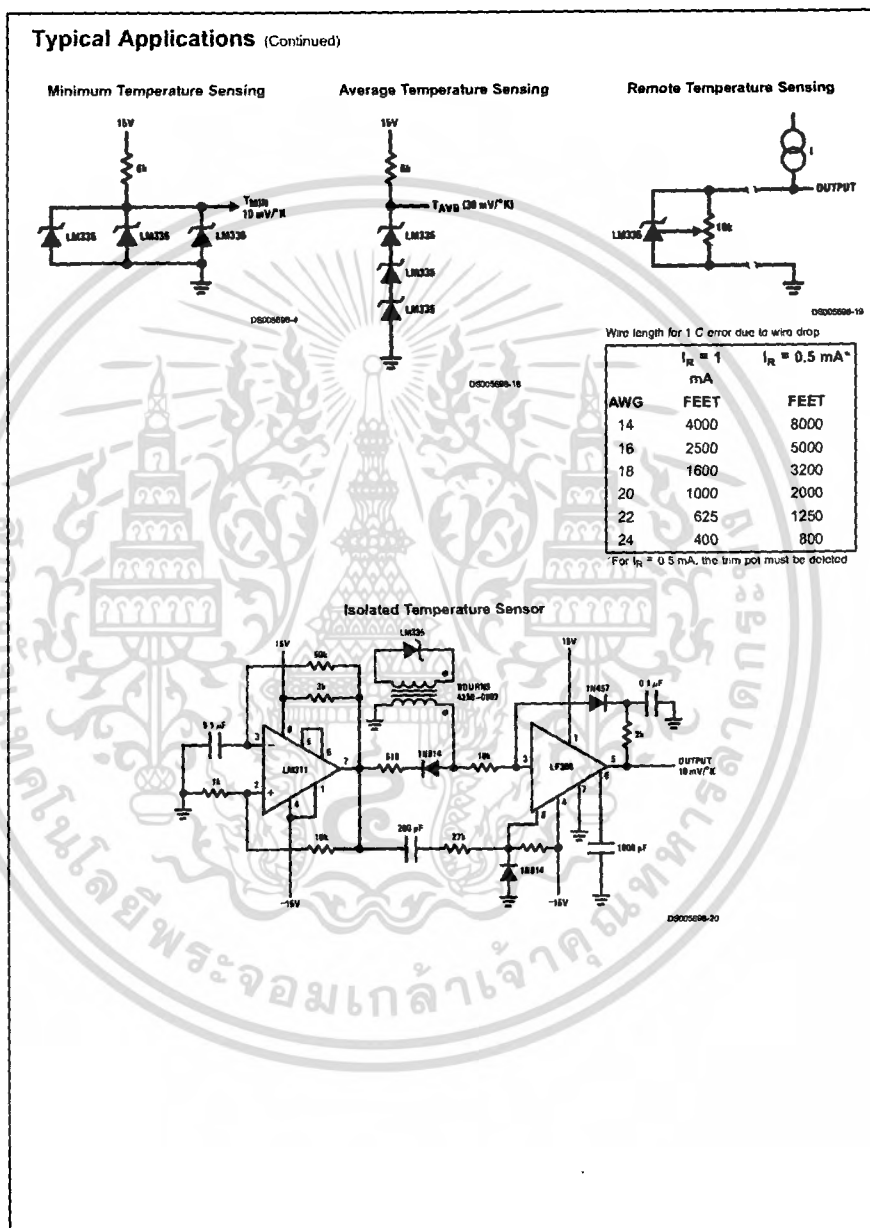
DS00559B-3

**Wide Operating Supply**



DS00559B-10

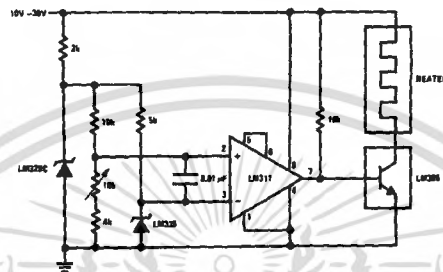
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

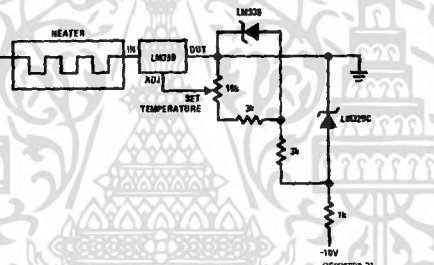
### Typical Applications (Continued)

#### Simple Temperature Controller

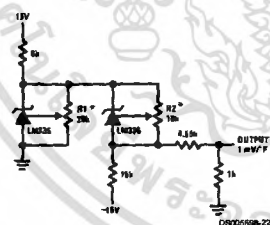


DS00089B-5

#### Simple Temperature Control



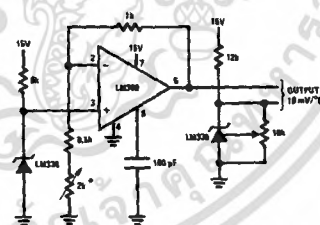
#### Ground Referred Fahrenheit Thermometer



\*Adjust R2 for 2.564V across LM336  
Adjust R1 for correct output.

DS00089B-22

#### Centigrade Thermometer



\*Adjust for 2.7315V at output of LM308

DS00089B-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Typical Applications (Continued)**

**Fahrenheit Thermometer**

\*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM338.  
Adjust R1 for correct output

**THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION**  
Compensation for Grounded Thermocouple

\*Select R3 for proper thermocouple type

THERMO-COUPLE	R3 (±1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

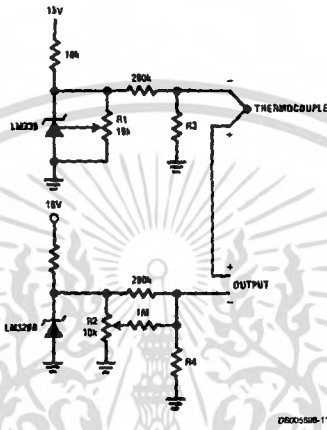
Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances  
 1. Short LM329B  
 2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3  
 3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical Applications (Continued)

#### Single Power Supply Cold Junction Compensation



\*Select R3 and R4 for thermocouple type

THERMO-COUPLE	R3	R4	SEEBECK COEFFICIENT
J	1.05K	385 $\Omega$	52.3 $\mu$ V/°C
T	856 $\Omega$	315 $\Omega$	42.8 $\mu$ V/°C
K	816 $\Omega$	300 $\Omega$	40.8 $\mu$ V/°C
S	128 $\Omega$	46.3 $\Omega$	6.4 $\mu$ V/°C

#### Adjustments:

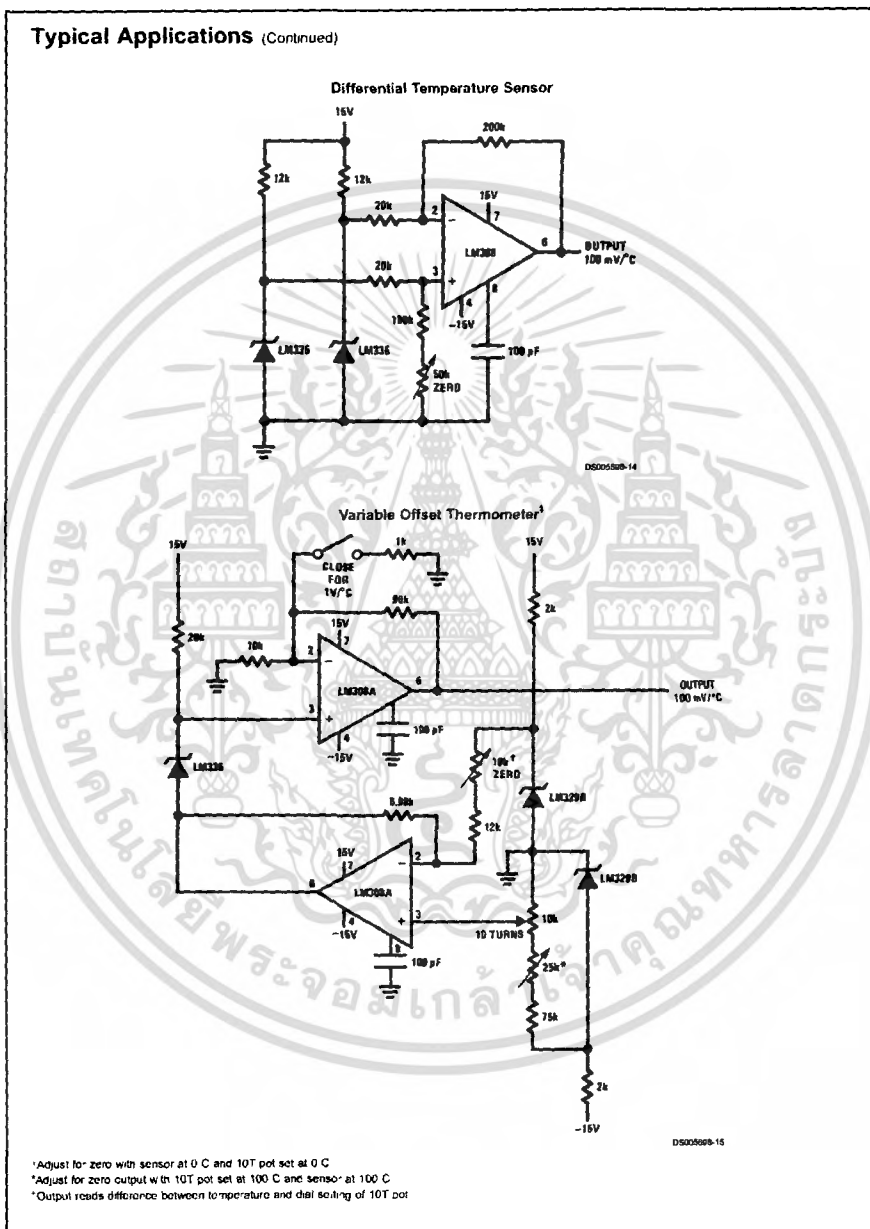
1. Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple.

J	14.32 mV
T	11.79 mV
K	11.17 mV
S	1.768 mV

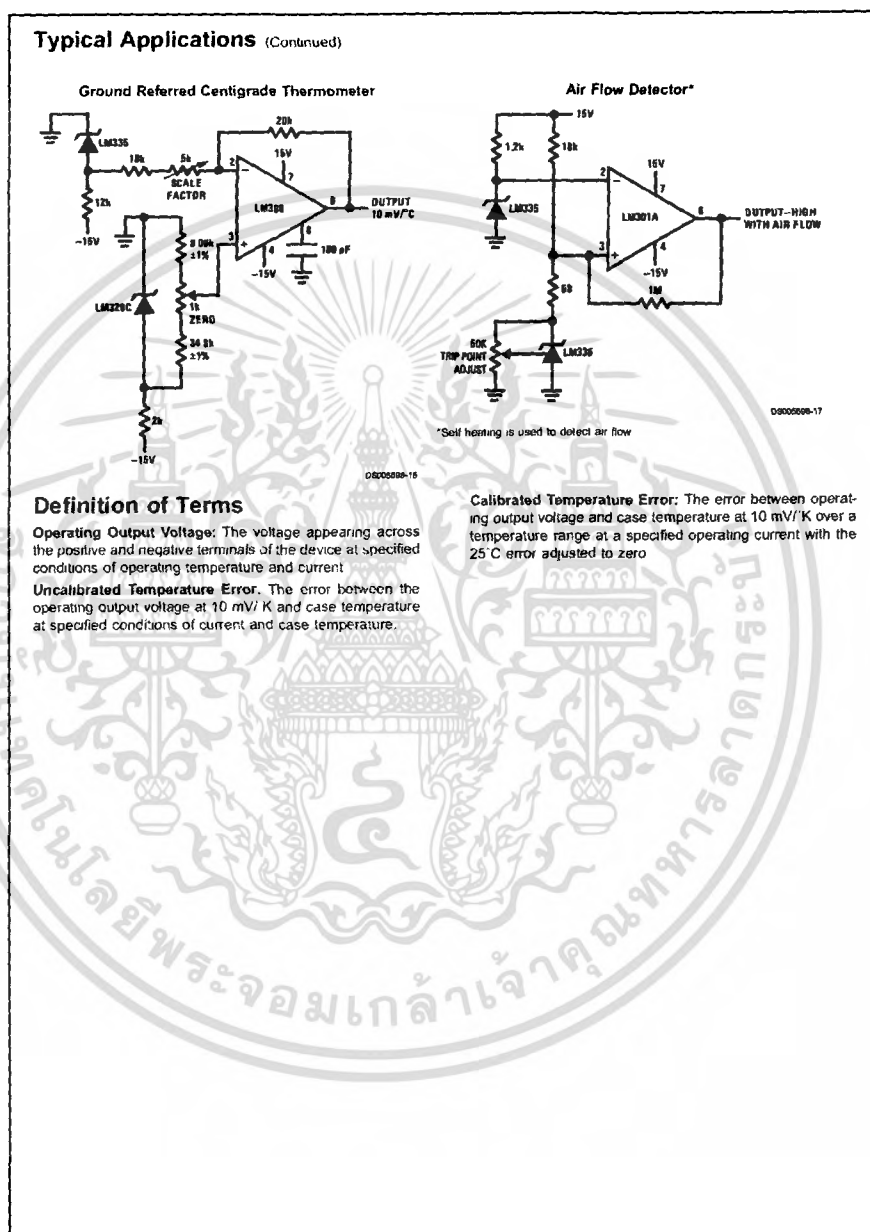
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



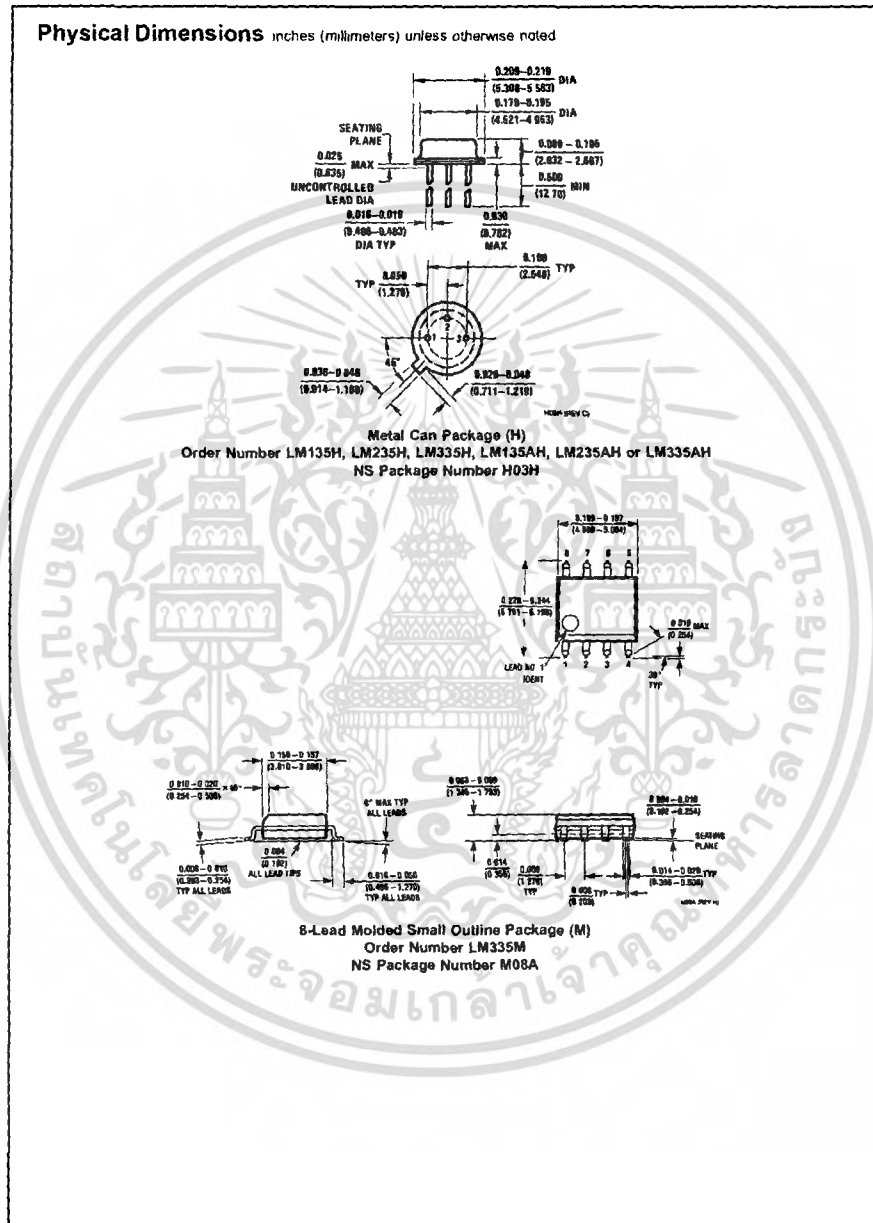
### Typical Applications (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



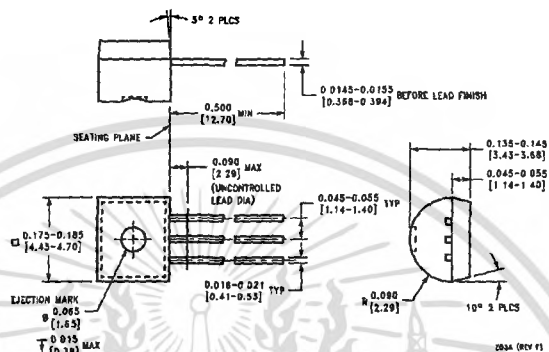
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

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




Plastic Package  
Order Number LM335Z or LM335AZ  
NS Package Z03A

**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>National Semiconductor Corporation Americas Tel: 1-800-272-9959 Fax: 1-800-737-7018 Email: support@nsc.com www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86 Email: europe.support@nsc.com Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85 English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32 Français Tel: +49 (0) 1 80-532 63 58 Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-2544499 Fax: 65-2504466 Email: sea.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-3-5639-7560 Fax: 81-3-5639-7507</p>
--	--	---	--

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described in circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

- High-performance, Low-power AVR<sup>®</sup> 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 130 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash  
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits  
In-System Programming by On-chip Boot Program  
True Read-While-Write Operation
  - 512 Bytes EEPROM  
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1K Byte Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Three PWM Channels
  - 8-channel ADC in TQFP and QFN/MLF package  
Eight Channels 10-bit Accuracy
  - 6-channel ADC in PDIP package  
Eight Channels 10-bit Accuracy
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V (ATmega8L)
  - 4.5 - 5.5V (ATmega8)
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz (ATmega8L)
  - 0 - 16 MHz (ATmega8)
- Power Consumption at 4 Mhz, 3V, 25°C
  - Active: 3.6 mA
  - Idle Mode: 1.0 mA
  - Power-down Mode: 0.5 µA



**8-bit AVR<sup>®</sup>  
with 8K Bytes  
In-System  
Programmable  
Flash**

**ATmega8  
ATmega8L**

**Summary**

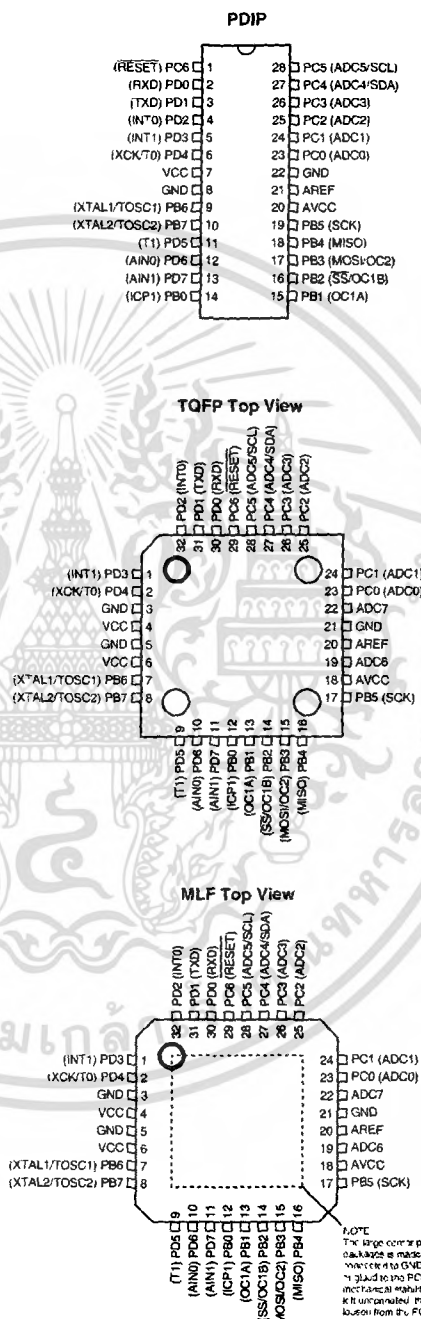
2486PS-AVR-02/06



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Pin Configurations



## 2 ATmega8(L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

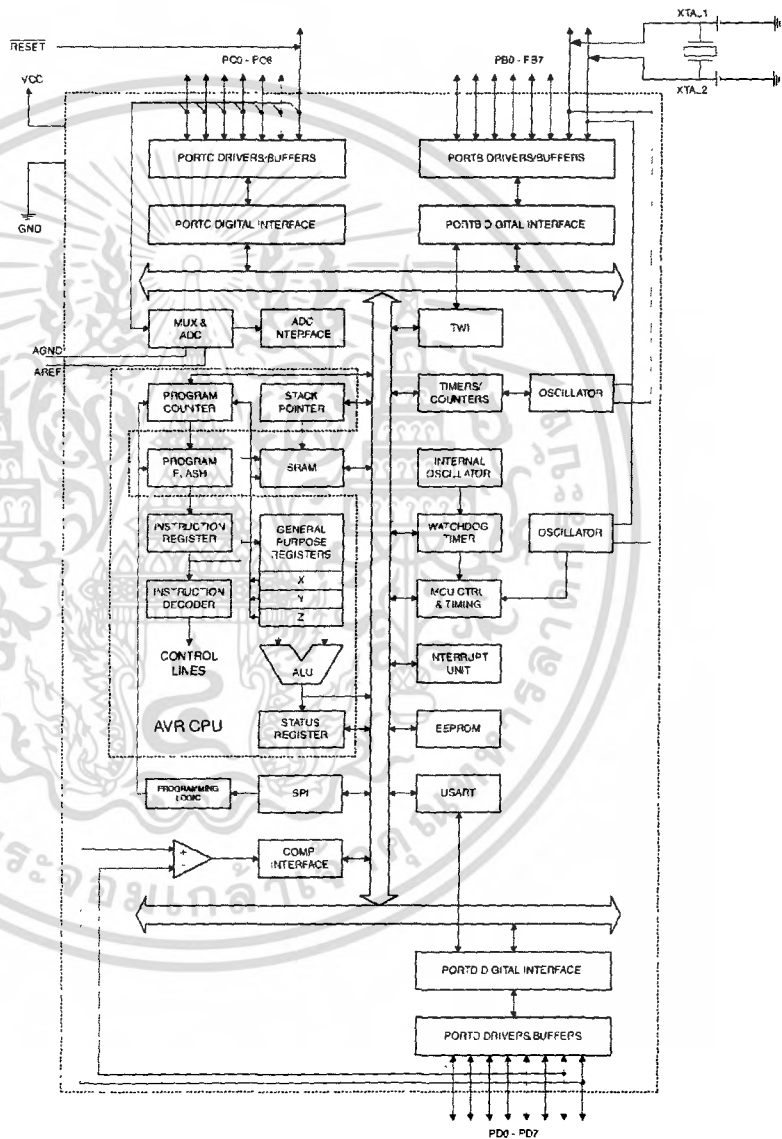
## ATmega8(L)

### Overview

The ATmega8 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega8 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz, allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

### Block Diagram

Figure 1. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega8 provides the following features: 8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512 bytes of EEPROM, 1K byte of SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, a 6-channel ADC (eight channels in TQFP and QFN/MLF packages) with 10-bit accuracy, a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The Flash Program memory can be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash Section will continue to run while the Application Flash Section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega8 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega8 AVR is supported with a full suite of program and system development tools, including C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-Circuit Emulators, and evaluation kits.

#### Disclaimer

Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

## ATmega8(L)

### Pin Descriptions

<b>VCC</b>	Digital supply voltage.
<b>GND</b>	Ground.
<b>Port B (PB7..PB0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2</b>	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.</p> <p>Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.</p> <p>If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.</p> <p>The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 56 and "System Clock and Clock Options" on page 23.</p>
<b>Port C (PC5..PC0)</b>	<p>Port C is an 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p>
<b>PC6/RESET</b>	<p>If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.</p> <p>If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 36. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.</p> <p>The various special features of Port C are elaborated on page 59.</p>
<b>Port D (PD7..PD0)</b>	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega8 as listed on page 61.</p>
<b>RESET</b>	<p>Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 36. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.</p>



<b>AV<sub>CC</sub></b>	AV <sub>CC</sub> is the supply voltage pin for the A/D Converter, Port C (3..0), and ADC (7..6). It should be externally connected to V <sub>CC1</sub> , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V <sub>CC</sub> through a low-pass filter. Note that Port C (5..4) use digital supply voltage, V <sub>CC</sub> .
<b>AREF</b>	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.
<b>ADC7..6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)</b>	In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7..6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

## Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.



## ATmega8(L)

## Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x3F (0x5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	9
0x3E (0x5E)	SPH	-	-	-	-	-	SP10	SP9	SP8	11
0x3D (0x5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	11
0x3C (0x5C)	Reserved									
0x3B (0x5B)	GCICR	INT1	INT0	-	-	-	-	IVSEL	IVCE	47, 66
0x3A (0x5A)	GIFR	INTF1	INTF0	-	-	-	-	-	-	66
0x39 (0x59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	-	TOIE0	70, 100, 120
0x38 (0x58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	-	TOV0	71, 101, 120
0x37 (0x57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	211
0x36 (0x56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	169
0x35 (0x55)	MCUCR	SE	SM2	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC00	ISC00	31, 64
0x34 (0x54)	MCUCSR	-	-	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	39
0x33 (0x53)	TCCR0	-	-	-	-	-	CS02	CS01	CS00	70
0x32 (0x52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								70
0x31 (0x51)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								29
0x30 (0x50)	SFIOR	-	-	-	-	ACME	PUD	PSR2	PSR10	56, 73, 121, 191
0x2F (0x4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	95
0x2E (0x4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	96
0x2D (0x4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 - Counter Register High byte								99
0x2C (0x4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 - Counter Register Low byte								99
0x2B (0x4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High byte								99
0x2A (0x4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low byte								99
0x29 (0x49)	OCR1BH	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High byte								99
0x28 (0x48)	OCR1BL	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low byte								99
0x27 (0x47)	ICR1H	Timer/Counter1 - Input Capture Register High byte								100
0x26 (0x46)	ICR1L	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low byte								100
0x25 (0x45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	115
0x24 (0x44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								117
0x23 (0x43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								117
0x22 (0x42)	ASSR	-	-	-	-	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	117
0x21 (0x41)	WDTCR	-	-	-	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	41
0x20 <sup>(1)</sup> (0x40 <sup>(1)</sup> )	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	UBRR[11:8]			156
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	154
0x1F (0x3F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	EEAR6	18
0x1E (0x3E)	EEARL	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	18
0x1D (0x3D)	EEDR	EEPROM Data Register								18
0x1C (0x3C)	EECR	-	-	-	-	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	18
0x1B (0x3B)	Reserved									
0x1A (0x3A)	Reserved									
0x19 (0x39)	Reserved									
0x18 (0x38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	63
0x17 (0x37)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	63
0x16 (0x36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	63
0x15 (0x35)	PORTC	-	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	63
0x14 (0x34)	DDRC	-	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	63
0x13 (0x33)	PINC	-	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	63
0x12 (0x32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	63
0x11 (0x31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	63
0x10 (0x30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	63
0x0F (0x2F)	SPDR	SPI Data Register								129
0x0E (0x2E)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X	129
0x0D (0x2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	127
0x0C (0x2C)	UDR	USART I/O Data Register								151
0x0B (0x2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	152
0x0A (0x2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	153
0x09 (0x29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low byte								156
0x08 (0x28)	ACSR	ACD	ACB6	ACO	AC1	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	192
0x07 (0x27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	-	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	203
0x06 (0x26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	205
0x05 (0x25)	ADCH	ADC Data Register High byte								206
0x04 (0x24)	ADCL	ADC Data Register Low byte								206
0x03 (0x23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								171
0x02 (0x22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWCE	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Register Summary (Continued)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x01 (0x21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0	171
0x00 (0x20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								169

- Notes:
1. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
  2. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
  3. Some of the Status Flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O Register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers 0x00 to 0x1F only.



## ATmega8(L)

## Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
<b>ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS</b>					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z, C, N, V, H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z, C, N, V, H	1
ADIW	RdI, K	Add Immediate to Word	$Rgh\ RdI \leftarrow Rgh\ RdI + K$	Z, C, N, V, S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z, C, N, V, H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z, C, N, V, H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z, C, N, V, H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z, C, N, V, H	1
SBIW	RdI, K	Subtract Immediate from Word	$Rgh\ RdI \leftarrow Rgh\ RdI - K$	Z, C, N, V, S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \& Rr$	Z, N, V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \& K$	Z, N, V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z, N, V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z, N, V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z, N, V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow 0xFF - Rd$	Z, C, N, V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow 0x00 - Rd$	Z, C, N, V, H	1
SBR	Rd, K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z, N, V	1
CBR	Rd, K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \& (\sim K)$	Z, N, V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z, N, V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z, N, V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \& Rd$	Z, N, V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \& \sim Rd$	Z, N, V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow 0xFF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1\ R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1\ R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1\ R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1\ R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1\ R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1\ R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
<b>BRANCH INSTRUCTIONS</b>					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
CPSE	Rd, Rr	Compare, Skip if Equal	$\text{if } (Rd = Rr) PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
CP	Rd, Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
CPC	Rd, Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
CPI	Rd, K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	$\text{if } (Rr(b)=0) PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
SBRs	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	$\text{if } (Rr(b)=1) PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	$\text{if } (P(b)=0) PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	$\text{if } (P(b)=1) PC \leftarrow PC + 2 \text{ or } 3$	None	1/2/3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	$\text{if } (SREG(s) = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	$\text{if } (SREG(s) = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BREQ	k	Branch if Equal	$\text{if } (Z = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRNE	k	Branch if Not Equal	$\text{if } (Z = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCS	k	Branch if Carry Set	$\text{if } (C = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	$\text{if } (C = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	$\text{if } (C = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLO	k	Branch if Lower	$\text{if } (C = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRMI	k	Branch if Minus	$\text{if } (N = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRPL	k	Branch if Plus	$\text{if } (N = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	$\text{if } (N \neq V = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	$\text{if } (N \neq V = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	$\text{if } (H = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	$\text{if } (H = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	$\text{if } (T = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	$\text{if } (T = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	$\text{if } (V = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	$\text{if } (V = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Instruction Set Summary (Continued)

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	$\text{if } (I = 1) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	$\text{if } (I = 0) \text{ then } PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
<b>DATA TRANSFER INSTRUCTIONS</b>					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	$Rd \leftarrow Rr$	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	$Rd \leftarrow Rr, Rr \leftarrow Rr + 1$	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	$Rd \leftarrow K$	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	$Rd \leftarrow (X)$	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc	$Rd \leftarrow (X), X \leftarrow X + 1$	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec	$X \leftarrow X - 1, Rd \leftarrow (X)$	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Y)$	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc	$Rd \leftarrow (Y), Y \leftarrow Y + 1$	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec	$Y \leftarrow Y - 1, Rd \leftarrow (Y)$	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Y + q)$	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	$Rd \leftarrow (Z)$	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec	$Z \leftarrow Z - 1, Rd \leftarrow (Z)$	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	$Rd \leftarrow (Z + q)$	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	$Rd \leftarrow (k)$	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	$(X) \leftarrow Rr$	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$(X) \leftarrow Rr, X \leftarrow X + 1$	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$X \leftarrow X - 1, (X) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	$(Y) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$(Y) \leftarrow Rr, Y \leftarrow Y + 1$	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$Y \leftarrow Y - 1, (Y) \leftarrow Rr$	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Y + q) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	$(Z) \leftarrow Rr$	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc	$(Z) \leftarrow Rr, Z \leftarrow Z + 1$	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec	$Z \leftarrow Z - 1, (Z) \leftarrow Rr$	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	$(Z + q) \leftarrow Rr$	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	$(k) \leftarrow Rr$	None	2
LPM		Load Program Memory	$R0 \leftarrow (Z)$	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	$Rd \leftarrow (Z)$	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	$Rd \leftarrow (Z), Z \leftarrow Z + 1$	None	3
SPM		Store Program Memory	$(Z) \leftarrow R1, R0$	None	-
IN	Rd, P	In Port	$Rd \leftarrow P$	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	$P \leftarrow Rr$	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	$STACK \leftarrow Rr$	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	$Rd \leftarrow STACK$	None	2
<b>BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS</b>					
SBI	P, b	Set Bit in I/O Register	$I/O(P, b) \leftarrow 1$	None	2
CBI	P, b	Clear Bit in I/O Register	$I/O(P, b) \leftarrow 0$	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	$Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), Rd(0) \leftarrow 0$	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), Rd(7) \leftarrow 0$	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	$Rd(0) \leftarrow C, Rd(n+1) \leftarrow Rd(n), C \leftarrow Rd(7)$	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	$Rd(7) \leftarrow C, Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), C \leftarrow Rd(0)$	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	$Rd(n) \leftarrow Rd(n+1), n=0-6$	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	$Rd(3, 0) \leftarrow Rd(7, 4), Rd(7, 4) \leftarrow Rd(3, 0)$	None	1
BSET	s	Flag Set	$SREG(s) \leftarrow 1$	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	$SREG(s) \leftarrow 0$	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	$T \leftarrow Rr(b)$	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	$Rd(b) \leftarrow T$	None	1
SEC		Set Carry	$C \leftarrow 1$	C	1
CLC		Clear Carry	$C \leftarrow 0$	C	1
SEN		Set Negative Flag	$N \leftarrow 1$	N	1
CLN		Clear Negative Flag	$N \leftarrow 0$	N	1
SEZ		Set Zero Flag	$Z \leftarrow 1$	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	$Z \leftarrow 0$	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	$I \leftarrow 1$	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	$I \leftarrow 0$	I	1
SES		Set Signed Test Flag	$S \leftarrow 1$	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	$S \leftarrow 0$	S	1
SEV		Set Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 1$	V	1
CLV		Clear Two's Complement Overflow	$V \leftarrow 0$	V	1
SFT		Set T in SREG	$T \leftarrow 1$	T	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ATmega8(L)

### Instruction Set Summary (Continued)

CLT	Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH	Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1
CLH	Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
<b>MCU CONTROL INSTRUCTIONS</b>				
NOP	No Operation		None	1
SLEEP	Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR	Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package <sup>(1)</sup>	Operation Range
8	2.7 - 5.5	ATmega8L-8AC	32A	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega8L-8PC	28P3	
		ATmega8L-8MC	32M1-A	
		ATmega8L-8AI	32A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8L-8AU <sup>(2)</sup>	32A	
		ATmega8L-8PI	28P3	
ATmega8L-8PU <sup>(2)</sup>	28P3			
ATmega8L-8MI	32M1-A	32M1-A		
ATmega8L-8MU <sup>(2)</sup>	32M1-A			
16	4.5 - 5.5	ATmega8-16AC	32A	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega8-16PC	28P3	
		ATmega8-16MC	32M1-A	
		ATmega8-16AI	32A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega8-16AU <sup>(2)</sup>	32A	
		ATmega8-16PI	28P3	
		ATmega8-16PU <sup>(2)</sup>	28P3	
		ATmega8-16MI	32M1-A	
		ATmega8-16MU <sup>(2)</sup>	32M1-A	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
  2. Pb-free packaging alternative, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.

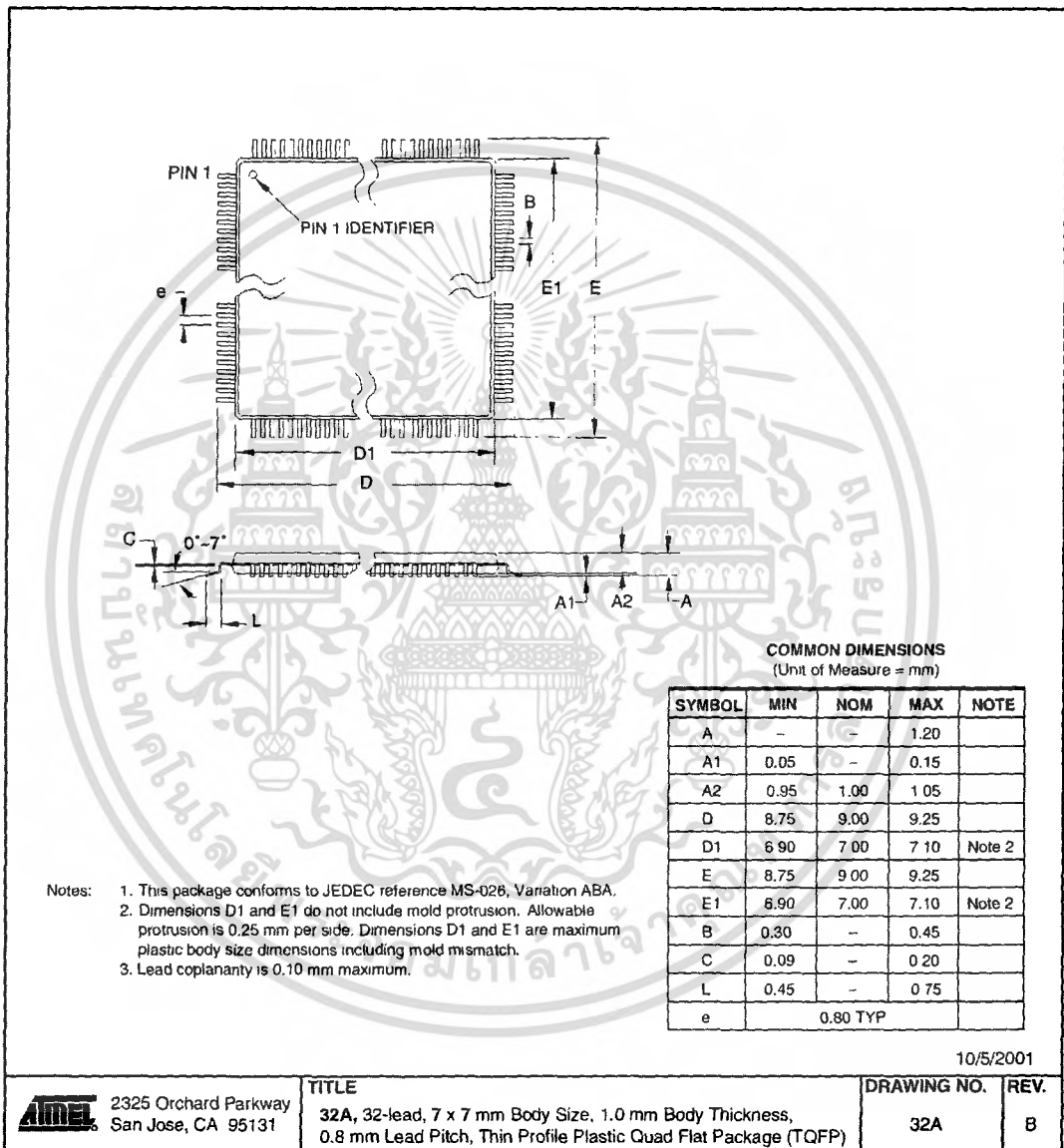
Package Type	
<b>32A</b>	32-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Quad Flat Package (TQFP)
<b>28P3</b>	28-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
<b>32M1-A</b>	32-pad, 5 x 5 x 1.0 body, Lead Pitch 0.50 mm Quad Flat No-Lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ATmega8(L)

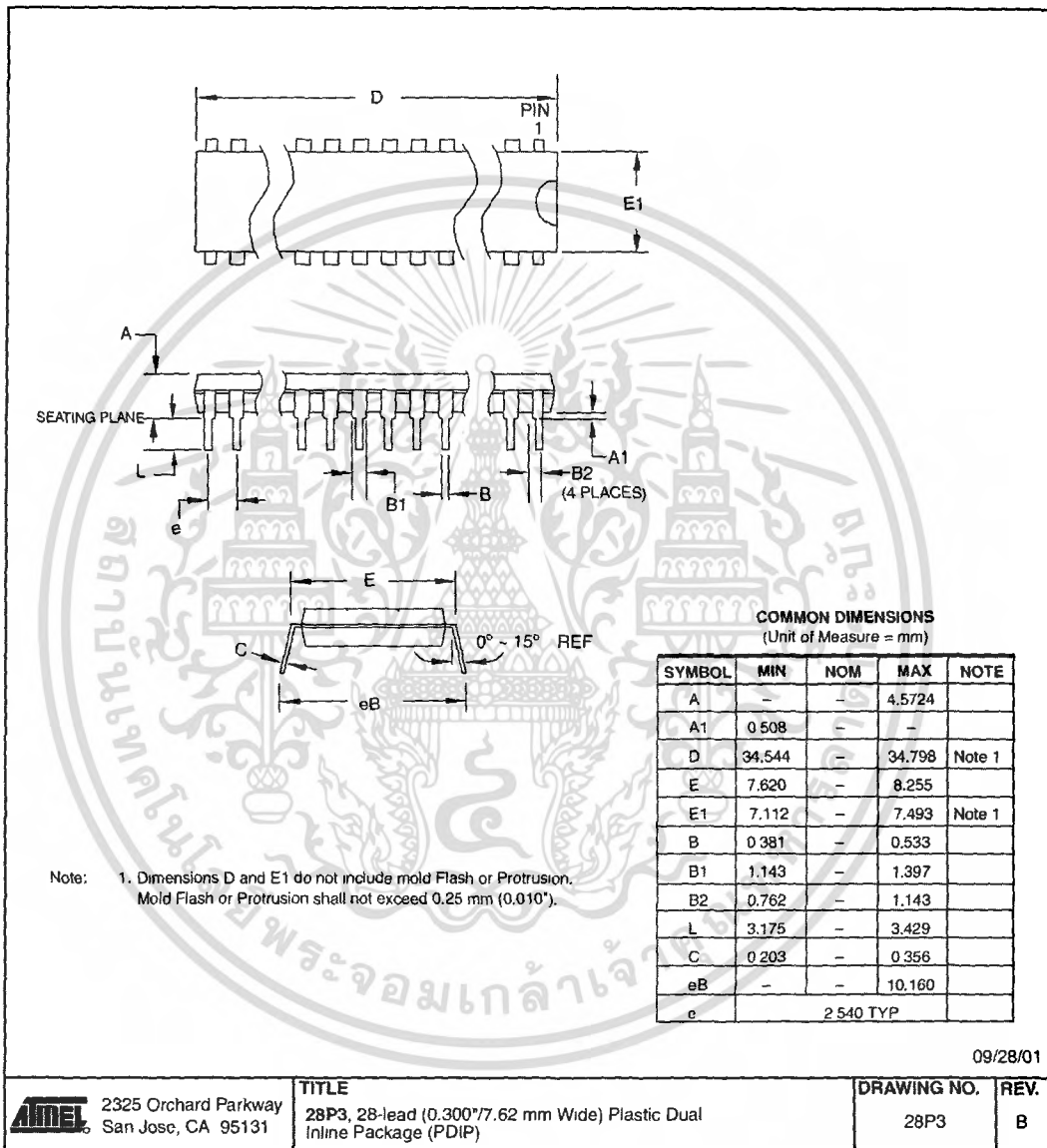
## Packaging Information

32A





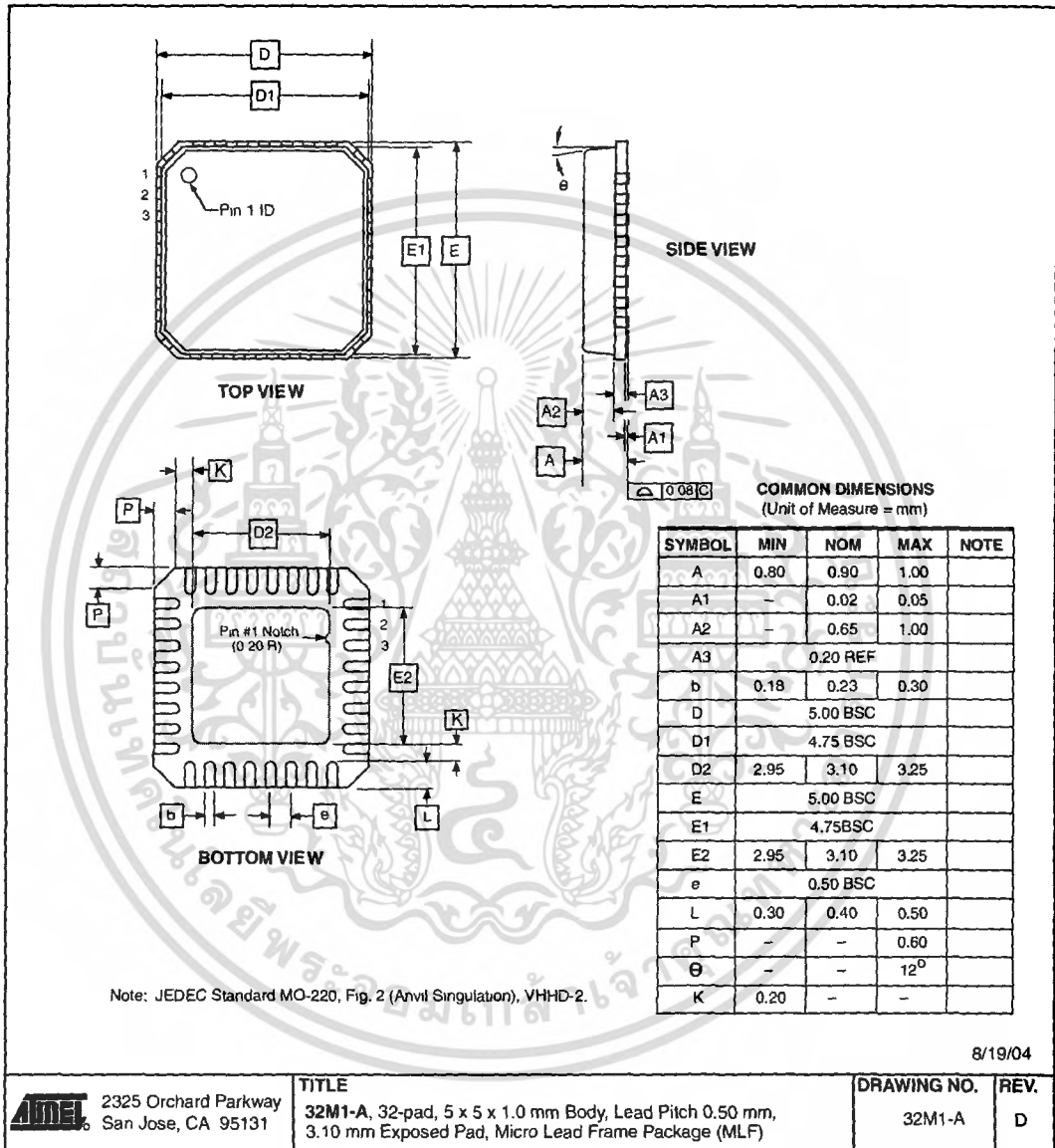
28P3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ATmega8(L)**

**32M1-A**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Erratas

The revision letter in this section refers to the revision of the ATmega8 device.

### ATmega8 Rev. D, E, F, and G

- **Signature may be Erased in Serial Programming Mode**
- **CKOPT Does not Enable Internal Capacitors on XTALn/TOSCn Pins when 32 KHz Oscillator is Used to Clock the Asynchronous Timer/Counter2**

#### 1. Signature may be Erased in Serial Programming Mode

If the signature bytes are read before a chip erase command is completed, the signature may be erased causing the device ID and calibration bytes to disappear. This is critical, especially, if the part is running on internal RC oscillator.

##### Problem Fix/Workaround:

Ensure that the chip erase command has exceeded before applying the next command.

#### 2. CKOPT Does not Enable Internal Capacitors on XTALn/TOSCn Pins when 32 KHz Oscillator is Used to Clock the Asynchronous Timer/Counter2

When the internal RC Oscillator is used as the main clock source, it is possible to run the Timer/Counter2 asynchronously by connecting a 32 KHz Oscillator between XTAL1/TOSC1 and XTAL2/TOSC2. But when the internal RC Oscillator is selected as the main clock source, the CKOPT Fuse does not control the internal capacitors on XTAL1/TOSC1 and XTAL2/TOSC2. As long as there are no capacitors connected to XTAL1/TOSC1 and XTAL2/TOSC2, safe operation of the Oscillator is not guaranteed.

##### Problem fix/Workaround

Use external capacitors in the range of 20 - 36 pF on XTAL1/TOSC1 and XTAL2/TOSC2. This will be fixed in ATmega8 Rev. G where the CKOPT Fuse will control internal capacitors also when internal RC Oscillator is selected as main clock source. For ATmega8 Rev. G, CKOPT = 0 (programmed) will enable the internal capacitors on XTAL1 and XTAL2. Customers who want compatibility between Rev. G and older revisions, must ensure that CKOPT is unprogrammed (CKOPT = 1).

## ATmega8(L)

### Datasheet Revision History

Please note that the referring page numbers in this section are referred to this document. The referring revision in this section are referring to the document revision.

#### Changes from Rev. 2486O-10/04 to Rev. 2486P- 02/06

1. Added "Resources" on page 6.
2. Updated "External Clock" on page 30.
3. Updated "Serial Peripheral Interface – SPI" on page 122.
4. Updated Code Example in "USART Initialization" on page 136.
5. Updated Note in "Bit Rate Generator Unit" on page 168.
6. Updated Table 98 on page 238.
7. Updated Note in Table 103 on page 246.
8. Updated "Erratas" on page 16.

#### Changes from Rev. 2486N-09/04 to Rev. 2486O-10/04

1. Removed to instances of "analog ground". Replaced by "ground".
2. Updated Table 7 on page 27, Table 15 on page 36, and Table 100 on page 242.
3. Updated "Calibrated Internal RC Oscillator" on page 28 with the 1 MHz default value.
4. Table 89 on page 223 and Table 90 on page 223 moved to new section "Page Size" on page 223.
5. Updated description for bit 4 in "Store Program Memory Control Register – SPMCR" on page 211.
6. Updated "Ordering Information" on page 12.

#### Changes from Rev. 2486M-12/03 to Rev. 2486N-09/04

1. Added note to MLF package in "Pin Configurations" on page 2.
2. Updated "Internal Voltage Reference Characteristics" on page 40.
3. Updated "DC Characteristics" on page 240.
4. ADC4 and ADC5 support 10-bit accuracy. Document updated to reflect this. Updated features in "Analog-to-Digital Converter" on page 194. Updated "ADC Characteristics" on page 246.
5. Removed reference to "External RC Oscillator application note" from "External RC Oscillator" on page 27.

#### Changes from Rev. 2486L-10/03 to Rev. 2486M-12/03

1. Updated "Calibrated Internal RC Oscillator" on page 28.



**Changes from Rev.  
2486K-08/03 to Rev.  
2486L-10/03**

1. Removed "Preliminary" and TBDs from the datasheet.
2. Renamed ICP to ICP1 in the datasheet.
3. Removed instructions CALL and JMP from the datasheet.
4. Updated  $t_{RST}$  in Table 15 on page 36,  $V_{BG}$  in Table 16 on page 40, Table 100 on page 242 and Table 102 on page 244.
5. Replaced text "XTAL1 and XTAL2 should be left unconnected (NC)" after Table 9 in "Calibrated Internal RC Oscillator" on page 28. Added text regarding XTAL1/XTAL2 and CKOPT Fuse in "Timer/Counter Oscillator" on page 30.
6. Updated Watchdog Timer code examples in "Timed Sequences for Changing the Configuration of the Watchdog Timer" on page 43.
7. Removed bit 4, ADHSM, from "Special Function IO Register – SFIOR" on page 56.
8. Added note 2 to Figure 103 on page 213.
9. Updated item 4 in the "Serial Programming Algorithm" on page 236.
10. Added  $t_{WD\_FUSE}$  to Table 97 on page 237 and updated Read Calibration Byte, Byte 3, in Table 98 on page 238.
11. Updated Absolute Maximum Ratings\* and DC Characteristics in "Electrical Characteristics" on page 240.

**Changes from Rev.  
2486J-02/03 to Rev.  
2486K-08/03**

1. Updated  $V_{BOT}$  values in Table 15 on page 36.
2. Updated "ADC Characteristics" on page 246.
3. Updated "ATmega8 Typical Characteristics" on page 247.
4. Updated "Erratas" on page 16.

**Changes from Rev.  
2486I-12/02 to Rev.  
2486J-02/03**

1. Improved the description of "Asynchronous Timer Clock –  $clk_{ASY}$ " on page 24.
2. Removed reference to the "Multipurpose Oscillator" application note and the "32 kHz Crystal Oscillator" application note, which do not exist.
3. Corrected OCn waveforms in Figure 38 on page 88.
4. Various minor Timer 1 corrections.
5. Various minor TWI corrections.
6. Added note under "Filling the Temporary Buffer (Page Loading)" on page 214 about writing to the EEPROM during an SPM Page load.
7. Removed ADHSM completely.

## ATmega8(L)

8. Added section "EEPROM Write during Power-down Sleep Mode" on page 21.
9. Removed XTAL1 and XTAL2 description on page 5 because they were already described as part of "Port B (PB7..PB0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2" on page 5.
10. Improved the table under "SPI Timing Characteristics" on page 244 and removed the table under "SPI Serial Programming Characteristics" on page 239.
11. Corrected PC6 in "Alternate Functions of Port C" on page 59.
12. Corrected PB6 and PB7 in "Alternate Functions of Port B" on page 56.
13. Corrected 230.4 Mbps to 230.4 kbps under "Examples of Baud Rate Setting" on page 157.
14. Added information about PWM symmetry for Timer 2 in "Phase Correct PWM Mode" on page 111.
15. Added thick lines around accessible registers in Figure 76 on page 167.
16. Changed "will be ignored" to "must be written to zero" for unused Z-pointer bits under "Performing a Page Write" on page 214.
17. Added note for RSTDISBL Fuse in Table 87 on page 221.
18. Updated drawings in "Packaging Information" on page 13.

### Changes from Rev. 2486H-09/02 to Rev. 2486I-12/02

1. Added errata for Rev D, E, and F on page 16.

### Changes from Rev. 2486G-09/02 to Rev. 2486H-09/02

1. Changed the Endurance on the Flash to 10,000 Write/Erase Cycles.

### Changes from Rev. 2486F-07/02 to Rev. 2486G-09/02

- 1 Updated Table 103, "ADC Characteristics," on page 246.

### Changes from Rev. 2486E-06/02 to Rev. 2486F-07/02

- 1 Changes in "Digital Input Enable and Sleep Modes" on page 53.
- 2 Addition of OCS2 in "MOSI/OC2 – Port B, Bit 3" on page 57.
- 3 The following tables has been updated:  
Table 51, "CPOL and CPHA Functionality," on page 130, Table 59, "UCPOL Bit Settings," on page 156, Table 72, "Analog Comparator Multiplexed Input<sup>(1)</sup>," on page 193, Table 73, "ADC Conversion Time," on page 198, Table 75, "Input Channel Selections," on page 204. and Table 84, "Explanation of Different Variables used in Figure 103 and the Mapping to the Z-pointer," on page 219.



5 Changes in “Reading the Calibration Byte” on page 232.

6 Corrected Errors in Cross References.

**Changes from Rev.  
2486D-03/02 to Rev.  
2486E-06/02**

**1 Updated Some Preliminary Test Limits and Characterization Data**

The following tables have been updated:

Table 15, “Reset Characteristics,” on page 36, Table 16, “Internal Voltage Reference Characteristics,” on page 40, DC Characteristics on page 240, Table , “ADC Characteristics,” on page 246.

**2 Changes in External Clock Frequency**

Added the description at the end of “External Clock” on page 30.

Added period changing data in Table 99, “External Clock Drive,” on page 242.

**3 Updated TWI Chapter**

More details regarding use of the TWI bit rate prescaler and a Table 65, “TWI Bit Rate Prescaler,” on page 171.

**Changes from Rev.  
2486C-03/02 to Rev.  
2486D-03/02**

**1 Updated Typical Start-up Times.**

The following tables has been updated:

Table 5, “Start-up Times for the Crystal Oscillator Clock Selection,” on page 26, Table 6, “Start-up Times for the Low-frequency Crystal Oscillator Clock Selection,” on page 26, Table 8, “Start-up Times for the External RC Oscillator Clock Selection,” on page 27, and Table 12, “Start-up Times for the External Clock Selection,” on page 30.

**2 Added “ATmega8 Typical Characteristics” on page 247.**

**Changes from Rev.  
2486B-12/01 to Rev.  
2486C-03/02**

**1 Updated TWI Chapter.**

More details regarding use of the TWI Power-down operation and using the TWI as Master with low TWBRR values are added into the datasheet.

Added the note at the end of the “Bit Rate Generator Unit” on page 168.

Added the description at the end of “Address Match Unit” on page 168.

**2 Updated Description of OSCCAL Calibration Byte.**

In the datasheet, it was not explained how to take advantage of the calibration bytes for 2, 4, and 8 MHz Oscillator selections. This is now added in the following sections:

Improved description of “Oscillator Calibration Register – OSCCAL” on page 29 and “Calibration Byte” on page 223.

**3 Added Some Preliminary Test Limits and Characterization Data.**

Removed some of the TBD’s in the following tables and pages:

Table 3 on page 24, Table 15 on page 36, Table 16 on page 40, Table 17 on page 42, “ $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 2.7\text{V}$  to  $5.5\text{V}$  (unless otherwise noted)” on page 240, Table 99 on page 242, and Table 102 on page 244.

**4 Updated Programming Figures.**

Figure 104 on page 224 and Figure 112 on page 235 are updated to also reflect that  $AV_{CC}$  must be connected during Programming mode.

## ATmega8(L)

- 5 Added a Description on how to Enter Parallel Programming Mode if RESET Pin is Disabled or if External Oscillators are Selected.

Added a note in section "Enter Programming Mode" on page 226.





### Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
Tel: 1(408) 441-0311  
Fax: 1(408) 487-2600

### Regional Headquarters

#### Europe

Atmel Sarl  
Route des Arsenaux 41  
Case Postale 80  
CH-1705 Fribourg  
Switzerland  
Tel: (41) 26-426-5555  
Fax: (41) 26-426-5500

#### Asia

Room 1219  
Chinachem Golden Plaza  
77 Mody Road Tsimshatsui  
East Kowloon  
Hong Kong  
Tel: (852) 2721-9778  
Fax: (852) 2722-1369

#### Japan

9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.  
1-24-8 Shinkawa  
Chuo-ku, Tokyo 104-0033  
Japan  
Tel: (81) 3-3523-3551  
Fax: (81) 3-3523-7581

### Atmel Operations

#### Memory

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
Tel: 1(408) 441-0311  
Fax: 1(408) 436-4314

#### Microcontrollers

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
Tel: 1(408) 441-0311  
Fax: 1(408) 436-4314

La Chanterrie  
BP 70602  
44306 Nantes Cedex 3, France  
Tel: (33) 2-40-18-18-18  
Fax: (33) 2-40-18-19-60

#### ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex, France  
Tel: (33) 4-42-53-60-00  
Fax: (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906, USA  
Tel: 1(719) 576-3300  
Fax: 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park  
Maxwell Building  
East Kilbride G75 0QR, Scotland  
Tel: (44) 1355-803-000  
Fax: (44) 1355-242-743

#### RF/Automotive

Theresienstrasse 2  
Postfach 3535  
74025 Heilbronn, Germany  
Tel: (49) 71-31-67-0  
Fax: (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906, USA  
Tel: 1(719) 576-3300  
Fax: 1(719) 540-1759

#### Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/ High Speed Converters/RF Datacom

Avenue de Rochepleine  
BP 123  
38521 Saint-Egreve Cedex, France  
Tel: (33) 4-76-58-30-00  
Fax: (33) 4-76-58-34-80

### Literature Requests

[www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature)

**Disclaimer:** The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. EXCEPT AS SET FORTH IN ATMEL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE LOCATED ON ATMEL'S WEB SITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS OF PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Atmel's products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

© Atmel Corporation 2006. All rights reserved. Atmel®, logo and combinations thereof, Everywhere You Are®, AVR®, and AVR Studio® are the registered trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

2486PS-AVR-02/06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้