



สำนักหอ

การเลือกชนิดและตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้า

SELECTING AND INSTALLING TEMPERATURE SENSOR

IN AN ELECTRIC IRON

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วันลงทะเบียน.....20.03.2560.....

เลขทะเบียน.....799357.....

เลขเรียกหนังสือ.....

นายอัฐวุฒิ ตั้งนพวรรณ รหัส 52362397

นายอิทธิพล คำตัน รหัส 52362410

ปธ  
0 534 ก  
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2557




## ใบรับรองปริญญาโท

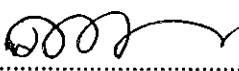
ชื่อหัวข้อโครงการ การเลือกชนิดและตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้า  
ผู้ดำเนินโครงการ นายอัฐวดี ตั้งนพวรรณ รหัส 52362397  
นายอิทธิพล คำตัน รหัส 52362410

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ การเลือกชนิดและตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้า  
ผู้ดำเนินโครงการ นายอัฐวุฒิ ตั้งนพวรรณ รหัส 52362397  
นายอิทธิพล คำตัน รหัส 52362410  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมนต์  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2557

---

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า เลือกหัววัดอุณหภูมิเพื่อทดลอง รวม 3 ชนิด คือ DS18B20 LM35 และเทอร์มิสเตอร์ ปรับความร้อน 3 ระดับ ใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานคือ Arduino IDE ที่เขียนบนโครงสร้างภาษาซี และโปรแกรม Parallax Data Acquisition tools หรือ PLX-DAQ

สำหรับการทดลองเลือกชนิดและตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิบนพื้นแผ่นความร้อนของเตารีด พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 100-180 องศาเซลเซียส หัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์มีความเหมาะสมมากกว่าหัววัดอุณหภูมิชนิด DS18B20 กับ LM35 เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ของเทอร์มิสเตอร์เท่ากับ 2% ซึ่งมีค่าต่ำกว่า MAE ของชนิด DS18B20 กับ LM35 โดยตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอยู่บริเวณด้านท้ายของเตารีด เนื่องจากมีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่พื้นแผ่นความร้อนเตารีด ไม่เกินช่วงที่หัววัดทำงานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

**Project title**                      Selecting and Installing Temperature Sensor in an Electric Iron  
**Name**                                      Mr. Attawut Tangnoppawan ID. 52362397  
    Mr. Ittipon Kumtun                      ID. 52362410  
**Project advisor**                      Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.  
**Major**                                      Electrical Engineering  
**Department**                              Electrical and Computer Engineering  
**Academic year**                              2014

.....

---

---

### Abstract

The objective of this project is to select and install temperature sensor for temperature measurement in an electric iron. The temperature sensors for this study were DS18B20, LM35 and thermistor. The sensors were controlled for three level of temperature with Arduino IDE program on C Programming Language and Parallax Data Acquisition tools or PLX-DAQ.

For experimental result of selecting and installing temperature sensor on heating element of electric iron, showed that thermistor was appropriate for 100°C -180 °C. Its Mean Absolute Error (MAE) was 2 % which was less than that of DS18B20 and LM35. The position of temperature sensor at the bottom of electric iron was appropriate because the temperature of heating element of electric iron was at the highest level and temperature sensor was still performed without any impairment.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมนต์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตร์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตากรุณา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจให้ประสบความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายอัฐวุฒิ      ตั้งนพวรรณ  
นายอิทธิพล      คำตัน

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
<hr/>	
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<hr/>	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
<hr/>	
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เตารีดไฟฟ้า (Electriccal Irons).....	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	6
2.3 ภาษาซี(C Programming Language).....	9
2.4 หัววัดอุณหภูมิ (sensor).....	9
2.4.1 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	9
2.4.2 หัววัดอุณหภูมิ LM35.....	11
2.4.3 หัววัดอุณหภูมิไอซี DS18B20.....	12
2.5 การศึกษาการใช้งานโปรแกรม PLX DAQ.....	13
2.6 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย.....	14

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	16
3.1 ศึกษาการหลักการทำงานของเตารีดไฟฟ้า.....	16
3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	16
3.3 ศึกษาการและเลือกใช้งานหัววัดอุณหภูมิ.....	17
3.4 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบน โครงสร้างภาษาซี.....	18
3.5 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม-PLX=DAQ.....	19
3.6 ออกแบบการทดลองและออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ.....	19
3.7 ออกแบบการเขียน โปรแกรมในการแปลงค่าเอาต์พุตจากหัววัดเป็นอุณหภูมิ.....	23
3.8 ขั้นตอนการ ทดลองการทำงานหัววัดอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้า.....	23
3.9 วิเคราะห์ผลการทดลองสรุปผลการทดลอง.....	24
3.10 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้ งานกับเตารีด.....	25
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการทดลองเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการใช้งานกับเตารีด.....	40
5.2 อภิปรายผลการศึกษา.....	41
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก โปรแกรมการทำงานของหัววัดอุณหภูมิ.....	44
ภาคผนวก ข รายละเอียดบอร์ด อาร์ดู ไอ โน้ ดูเอมิลาร์นูฟ (Arduino Duemilanove).....	51
ภาคผนวก ค รายละเอียด LM35.....	56
ภาคผนวก ง รายละเอียด DS18B20.....	69
ภาคผนวก จ รายละเอียดเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor).....	91
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการงาน.....	100

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU.....	8
4.1 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละระดับอุณหภูมิทดสอบมาตรฐานความร้อนที่ได้จากปุ่มปรับระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้า.....	27
4.2 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของความร้อนทั้ง 3 ระดับที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิLM35 ....	30
4.3 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของความร้อนทั้ง 3 ระดับที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	33
4.4 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละระดับอุณหภูมิLM35 Ds18B20 และ เทอร์มิสเตอร์มาเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิอ้างอิง.....	35
4.5 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากหัววัดชนิดต่างๆเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิง ..	36





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU .....	6
2.2 แสดงสัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์ .....	3
2.3 แสดงการทำงานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC และ NTC .....	8
2.4 แสดงลักษณะการทำงานของ LM35.....	10
2.5 แสดงขาและตัวถัง TO-92 ของไอซี DS18B20 .....	10
2.6 แสดงลักษณะ โปรแกรม (PLX DAQ) .....	13
3.1 การต่อ LM35 เพื่อใช้งาน.....	17
3.2 การต่อ DS1820 เพื่อใช้งาน.....	18
3.3 การต่อเทอร์มิสเตอร์เพื่อใช้งาน .....	18
3.4 โครงสร้างภายในเตารีดไฟฟ้ารุ่น International JP87 .....	19
3.5 ตำแหน่งในการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ.....	20
3.6 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ Lm35 .....	21
3.7 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ Ds1820 .....	22
3.8 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์ .....	23
4.1 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ.....	25
4.2 การบันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ผ่านวีดีโอ.....	26
4.3 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่หนึ่ง ....	28
4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่สอง .....	29
4.5 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่สาม .....	29
4.6 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ lm35 ความร้อนระดับที่หนึ่ง.....	31
4.7 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ lm35 ความร้อนระดับที่สอง .....	31
4.8 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ lm35 ความร้อนระดับที่สาม .....	32
4.9 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ความร้อน ระดับที่หนึ่ง	33
4.10 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ความร้อนระดับที่สอง	34
4.11 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ความร้อนระดับที่สอง	34
4.12 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ Thermistor ความร้อนระดับที่สาม เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง .....	37

## สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

4.13 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ขณะใช้งานทั้งที่มีโหลด และไม่มีโหลด.....	39
--	----



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในการพัฒนาระบบตัดไฟในเตาไร้ดอจรียะมีความจำเป็นต้องใช้งาน หัววัดวัดอุณหภูมิมาทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเตาไร้ดอจรียะ โดยต้องเลือกหัววัดที่มีราคาเหมาะสมกับเตาไร้ดอจรียะในท้องตลาดซึ่งมีราคาไม่แพงมากเกินไปนักเมื่อเทียบกับราคาเตาไร้ดอจรียะ จากการตรวจสอบราคาในเบื้องต้นพบว่าหัววัดที่มีช่วงการวัดที่เหมาะสมกับเตาไร้ดอจรียะนั้นมีราคาที่สูงซึ่งสูงกว่าราคาเตาไร้ดอจรียะทั่วไปในท้องตลาด คณะผู้จัดทำจึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะเลือกหัววัดที่เหมาะสมและมีราคาถูกเพื่อมาใช้งานร่วมกับเตาไร้ดอจรียะซึ่งหาจุดที่หัววัดที่สามารถใช้วัดอุณหภูมิในระบบตัดไฟในเตาไร้ดอจรียะได้อย่างเหมาะสม

โดยทดลองวัดอุณหภูมิเตาไร้ดอจรียะในตำแหน่งต่างๆบนแผ่นความร้อนเตาไร้ดอจรียะ ซึ่งพบว่าความร้อนในแต่ละจุดบนแผ่นเตาไร้ดอจรียะมีอุณหภูมิที่ไม่เท่ากัน ผู้จัดทำจะใช้สมบัตินี้ของเตาไร้ดอจรียะเพื่อหาจุดที่หัววัดราคาถูกสามารถใช้อุณหภูมิในระบบตัดไฟในเตาไร้ดอจรียะได้ ในส่วนระบบตัดไฟจะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างจุดติดตั้งหัววัดกับจุดกำเนิดความร้อน ซึ่งเป็นจุดที่มีความร้อนสูงสุดในแผ่นเตาไร้ดอจรียะเพื่อการควบคุม ซึ่งเลือกจากหัววัดที่มีราคาเหมาะสมกับราคาเตาไร้ดอจรียะมาทดลองหาชนิดที่สามารถวัดอุณหภูมิในเตาไร้ดอจรียะได้โดยไม่เกิดความเสียหายในจุดที่ตั้งที่เหมาะสมกับชนิดหัววัด โดยคณะผู้จัดทำจะทดลองเพื่อเลือกชนิดหัววัดและหาจุดติดตั้งให้กับหัววัดที่เลือกโดยไม่มีการออกแบบระบบตัดไฟในเตาไร้ดอจรียะ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะทดลองเรื่องการเลือกชนิดและตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิในเตาไร้ดอจรียะไฟฟ้า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตาไร้ดอจรียะ
2. ทดลองความเร็วการตอบสนองของหัววัดอุณหภูมิที่เลือกใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมอุณหภูมิในขั้นต่อไป
3. ทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตาไร้ดอจรียะไฟฟ้าในขณะที่ใช้งานทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลดของหัววัดอุณหภูมิที่เลือกใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมอุณหภูมิในขั้นต่อไป

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

เลือกชนิดหัววัดอุณหภูมิที่มีราคาที่เหมาะสมติดตั้งกับเตาในท้องตลาดในจุดที่เหมาะสมโดยไม่มีการเสียหายของหัววัด

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน ( เดือน 2557-2558)				
	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558
ศึกษาการหลักการทำงานของเตาไร้ดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ					
ศึกษาการทำงานและ โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์					
ศึกษาการและเลือกใช้งานหัววัดอุณหภูมิ					
ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี					
ศึกษาการใช้งานของ โปรแกรม PLX-DAQ					
ออกแบบการทดลองและออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ					
ออกแบบการเขียนโปรแกรมในการแปลงค่าเอาต์พุตจากหัววัดเป็นอุณหภูมิ					
ขั้นตอนการทดลองการทำงานหัววัดอุณหภูมิในเตาไร้ดไฟฟ้า					
สรุปผลการดำเนินการ					
จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์					

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มทักษะของคณะผู้วิจัยในการใช้งานหัววัดอุณหภูมิ
2. เพิ่มทักษะของคณะผู้วิจัยในการใช้งานบอร์ด อาดูโนร่วมกับโปรแกรมภาษาซี
3. สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิได้

## 1.6 งบประมาณของโครงการ

1. ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิอ้างอิง	300 บาท
2. ชุดเครื่องมือทำเซนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	1,200 บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	500 บาท
รวมเงินทั้งสิ้น	<u>2,000 บาท</u>



## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงการการเลือกชนิดและตำแหน่งการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้าซึ่งได้ศึกษาแนวคิด และทฤษฎี ในบทนี้ผู้จัดทำโครงการนี้ได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มต้นศึกษาจากเตารีด ไมโครคอนโทรลเลอร์ หัววัดอุณหภูมิชนิด LM35 เทอร์มิสเตอร์ DS1820 ภาษาซี การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 เตารีดไฟฟ้า (Electric Iron)

เตารีดไฟฟ้าตามความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หมายถึง เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถหีบยกได้ ให้ความร้อนแผ่นฐานด้วยไฟฟ้าและใช้สำหรับรีดวัสดุ สิ่งทอ ให้เรียบ ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้กับเตารีดได้พัฒนาขึ้นมา โดยเปลี่ยนไปจากอดีตซึ่งทำได้เพียงเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการรีด ในขณะที่ปัจจุบัน ได้มีการนำเอาสารเคลือบ เช่น เทฟลอน (Teflon) มาเคลือบแผ่นฐานรีด (Sole Plate) เพื่อเพิ่มความ ลื่นและใช้งาน ได้สะดวก มีการนำระบบต้มไอน้ำ ในขณะที่รีดพร้อมกันเพื่อสามารถรีดผ้าได้ อย่างมีคุณภาพ มีระบบปรับตั้งอุณหภูมิของเตารีดให้เหมาะกับผ้าได้หลากหลายมากขึ้น ทำให้การรีดผ้าง่ายและสะดวกขึ้นมาก อีกทั้งยังประหยัดพลังงาน ในการรีดอีกด้วย จากหลักการทำงานของเตารีดไฟฟ้าข้างต้น นำไปสู่การใช้งาน โดยเริ่มจาก เมื่อใช้เตาเสียบของเตารีดไฟฟ้าเสียบเข้ากับเต้ารับแล้ว กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดให้ความร้อน คือแถบลวดนิโครม หรือขดลวดความร้อน และจะถ่ายเทความร้อนให้กับแผ่นหน้าสัมผัสเตารีดไฟฟ้าเพื่อทับผ้าทำให้แผ่นทับผ้าร้อน โดยทั่วไปเตารีดไฟฟ้าจะประกอบด้วย ส่วนประกอบต่างดังนี้

มือจับ (Handle) มือจับเป็นส่วนที่ป้องกัน ไม่ให้ความร้อนแพร่กระจายมาที่มือขณะที่รีดผ้า มือจับทำด้วยพลาสติกทนความร้อน ที่มือจับจะมีปุ่มปรับความร้อนอยู่และมีเลนซ์ของหลอดแสดงการทำงานของเตารีดด้านข้าง ตลอดจนมีป้ายบอกคุณสมบัติของเตารีดหรือที่เรียก เนมเพลท (Name Plate) อยู่ด้วย

ฝาครอบ (Cover) ฝาครอบทำหน้าที่ในการปกปิดชิ้นส่วนที่อยู่ข้างในและป้องกันไม่ให้ผู้ใช้สัมผัส ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ฝาครอบทำ ด้วยเหล็กชุมนิโครเมียม (Chromium)

เหล็กกดทับแผ่นความร้อน ( Pressure Plate) เหล็กกดแผ่นความร้อนทำหน้าที่กดแผ่นความร้อนให้แนบกับพื้นเตารีดเพื่อให้ความร้อนจากแผ่นความร้อนผ่าน ไปยังพื้นเตารีด แผ่นกดทับแผ่นความร้อนจะมีน้ำหนักให้กับเตารีดเวลารีดผ้าจะทำให้ผ้าเรียบขึ้น

หน้าสัมผัส (Contact) หน้าสัมผัสจะยึดติดอยู่กับแผ่นรีด หน้าสัมผัสทำหน้าที่เป็นสวิทช์อัตโนมัติตัดต่อกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านไปยังแผ่นความร้อน โดยหน้าสัมผัสจะถูกควบคุมด้วยไบ-เมทอล อีกทีหนึ่ง

ไบ-เมทอล (Bimetal) ไบ-ทอล ติดอยู่ที่พื้นของเตารีดทำหน้าที่ควบคุมความร้อนของเตารีดที่ตั้งไว้เมื่อความร้อนได้ถึงที่ตั้งไว้ ไบ-เมทอล จะงอตัวดันให้หน้าสัมผัสเปิดออก เมื่อเย็นตัวหน้าสัมผัสจะกลับสภาพเดิม

แผ่นความร้อน(Heating Element) แผ่นความร้อนในเตารีดมี 2 แบบ

### 1. แผ่นความร้อนแบบกึ่งปิด (Semi Closing Heating Element) แผ่นความร้อนแบบกึ่ง

ปิดจะเป็นขดลวดนิโครมชนิดแบน วางอยู่ที่แผ่นไมกาทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และมีขั้วต่อไฟฟ้า 2 ขั้วเพื่อต่อกับวงจรไฟฟ้าภายในเตารีด โดยวางกับพื้นเตารีดแผ่นแอสเบททอส (Asbestos) วางทับอยู่ด้านบนและมีเหล็กกดทับแผ่นความร้อนวางทับอีกทีหนึ่ง

### 2. แผ่นความร้อนแบบปิด (Closing Heating Element) แผ่นความร้อนที่ใช้จะหล่อติดอยู่กับพื้นของเตารีด เมื่อแผ่นความร้อนขาดจะต้องเปลี่ยนทั้งพื้นเตารีดโดยทั่วไปแล้วจะทนมากแต่สิ้นเปลืองพลังงานมาก

พื้นเตารีด พื้นเตารีดทำมาจากเหล็กชุบโครเมียม ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากแผ่นความร้อน ไปยังผ้าที่รีด

แผ่นตั้งเตารีด ( Heel Plate) แผ่นตั้งเตารีดทำมาจากโลหะอลูมิเนียม ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากพื้นเตารีดแผ่นตั้งเตารีดจะเกิดความร้อนน้อยมาก ที่แผ่นตั้งเตารีดอาจมีรายละเอียด เช่น ขี้หรือรูน ขนาดแหล่งจ่ายที่ใช้ น้ำหนักของเตารีด สถานที่ผลิต และมาตรฐานอุตสาหกรรม เป็นต้น

หลอดไฟ (Indicator Lamp) และฝาครอบท้ายเตารีด (End Cover) หลอดจะประกอบอยู่ที่ฝาครอบท้ายเตารีดที่ฝาครอบเตารีดจะมีขั้วโลหะต่อกับหลอดไฟอยู่ 2 ขั้วต่อกับหลักที่ต่อลวดความต้านทาน ดังนั้นเท่ากับหลอดไฟจะต่อขนานกับลวดความต้านทานลวด ความต้านทานก็จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมให้กับหลอดไฟหลอดไฟที่ใช้ จะมีแรงดันขนาด 1.5 โวลต์หรือ 2.5 โวลต์ ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ตกคร่อมลวดต้านทาน

ลวดความต้านทาน ( Lamp Resistor) ลวดความต้านทานนี้จะต่ออยู่กับแผ่นความร้อน ซึ่งถ้าแผ่นความร้อนมีกระแสไหลผ่าน ลวดความต้านทานจะมีกระแสไหลผ่านด้วยและหลอดไฟ มาต่อแบบขนานกับลวดความต้านทานก็จะทำให้หลอดสว่างด้วยแต่ไม่มีกระแสไหลผ่านหลอดไฟก็จะดับ

### ชนิดของเตารีดไฟฟ้า

แม้ว่าเตารีดจะมีหลากหลายชนิดหลายประโยชน์ใช้สอย แต่ในการแบ่งรูปแบบของเตารีดสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 4 แบบตามลักษณะการใช้งาน คือ

1. เตารีดไฟฟ้าแบบธรรมดา (Electric Irons) เตารีดไฟฟ้าชนิดนี้เป็นเตารีดไฟฟ้าที่ให้ ความร้อนแก่เตารีดตลอดเวลาไม่สามารถปรับอุณหภูมิได้ เมื่อใช้เตารีดเสียบกับเตารีดแล้ว ขด ลวดความร้อน จะให้ความร้อนตลอดเวลา เมื่อต้องการลดอุณหภูมิต้องดึงเต้าเสียบออกและถ้า ต้องการเพิ่มอุณหภูมิก็กใช้เต้าเสียบเสียบเตารีดใหม่อีกครั้ง ซึ่งเตารีดชนิดนี้ไม่นิยมกันเพราะเกิด อันตรายได้ง่าย

2. เตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic Electric Irons) เตารีดชนิดนี้เป็นเตารีดไฟฟ้าที่มี เครื่องปรับอุณหภูมิหรือเทอร์โมสตัท (Thermostat) สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เพื่อให้ได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับผ้าที่ต้องการรีด

3. เตารีดไอน้ำ (Electric Steam Iron) เตารีดแบบนี้สามารถพ่นไอน้ำร้อน ออกมาได้ เพื่อให้ความสะดวกและประสิทธิภาพในการรีดผ้าได้ดียิ่งขึ้น มีทั้งแบบที่เติมน้ำเข้าไปในตัวเตารีด โดยตรง โดยมีช่องเติมน้ำและฐานเตารีดมีช่องพ่นไอน้ำออกมา และแบบที่มีฐานใส่น้ำแยกต่างหาก จากตัว เตารีดเพื่อกักเก็บน้ำและมีสายต่อไอน้ำพ่นออกมาจากตัวเตารีด เตารีดประเภทที่มีฐานแบบนี้ มีราคาสูงกว่าแบบที่เติมน้ำไปในตัวเตารีดมาก แต่มีข้อดีคือไม่ทำให้เกิดตะกรันขึ้น ในตัวเตารีดซึ่ง เป็นสาเหตุให้เตารีด อุดตันและสิ้นเปลืองพลังงาน

4. เตารีดไฟฟ้าแบบกดทับ เตารีดแบบนี้เป็นรูปแบบใหม่ของเตารีด โดยออกแบบให้ไม่ต้อง มีการไถหรือรีดเตารีดไปบนเนื้อผ้าวิธีการใช้งานคือการสร้างแผ่นความร้อนที่มีพื้นที่กว้างพอเหมาะ และมีการประกบของแผ่นให้ความร้อนและฐานรองผ้าสามารถรีดผ้าได้อย่างรวดเร็วโดยการกดลงบนผ้าแล้วยกขึ้น สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างละเอียด เตารีดแบบนี้มีราคาสูงมาก เพราะมี ชิ้นส่วนที่เป็นตัวทำความร้อนขนาดใหญ่และต้องนำเข้าสำเร็จรูปจากต่างประเทศยังไม่เป็นที่นิยม นัก เพราะราคาที่สูง เหมาะกับการใช้งานในร้านซักรีดที่มีการรีดผ้าครั้งละ มาก ๆ

## 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ ข้อมูลดิจิทัลออกมา เพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ภายในชิพของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมี หน่วยความจำอยู่ในชิพเพียงตัวเดียว ซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยวไมโครคอน - โทรลเลอร์เป็น ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วน อินพุต/เอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มี



ความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่โดยมากจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เตอบไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่ามีไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานในงานควบคุมหลายประการ เช่น

- ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์

~~วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร~~

- มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
- ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างอันได้แก่หน่วยความจำภายใน จำนวนขา จำนวนพอร์ต ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกไมโครโปรเซสเซอร์ไปใช้งาน จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ หรือความเหมาะสมของงาน

ในโครงการนี้ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้ Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข ATMEGA328P-PU มีคุณสมบัติดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เบอร์ ATmega328P ของแอทเมล (ATMEL) ใช้งานที่ความถี่ 16.00 เมกะเฮิร์ตซ์ มีหน่วยความจำแฟลช (FLASH) 16 กิโลไบต์ SRAM 1 กิโลไบต์ EEPROM 512 ไบต์มีขาทั้งหมด 28 ขา โดยมีขา I/O ใช้งาน 22 ขา เป็นดิจิทัลจำนวน 14 ขา และ เป็น A/D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ขา เพาเวอร์ซัพพลายต่อใช้งาน 5 โวลต์มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูป 2.1

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/XTXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INTD) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKOUT/CP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

รูปที่ 2.1 รูปแบบโครงสร้างของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Port C (P0-P5) หรือขาที่ 23-28 เพื่อเป็นพอร์ตอินพุตในการทดลองหัววัดชนิด LM35 และหัววัดชนิดเทอร์มิสเตอร์ และใช้ Port B (P2) หรือขา 16 เพื่อเป็นพอร์ตอินพุตในการทดลองหัววัดชนิด DS18B20 แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

ขา	หน้าที่การทำงาน	ขาที่ใช้
VCC	แรงดันดิจิทัล	7
GND	สำหรับต่อลงกราวด์	8,22
Port B (P0-P7) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	พอร์ต B เป็น 8 บิตสองทิศทางพอร์ต I/O มีตัวต้านทานพูล-อัพภายใน (เลือกสำหรับแต่ละบิต) พอร์ต B บัฟเฟอร์ส่งออก tri-stated เมื่อตั้งค่าเงื่อนไขจะกลายเป็นการใช้งาน แม้ว่านาฬิกาไม่ได้ทำงานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีวส์เลือก นาฬิกา PB6 สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการขยายสัญญาณแบบกลับหัว PB7 สามารถใช้เป็นเอาต์พุตจากขยายการกลับหัวออสซิลเลเตอร์	16
Port C (P0-P5)	พอร์ต C เป็น 7 บิตสองทิศทางพอร์ต I/O ที่มีความต้านทานภายในดึงขึ้น (เลือกสำหรับแต่ละบิต) PC5-0 บัฟเฟอร์ส่งออกมีลักษณะสมมาตร โครห์ที่มีทั้งอ้างอิงสูงและความสามารถในการแหล่งที่มา ในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตขาพอร์ต C ที่มีค่าดึงภายนอกจะมาถึงปัจจุบันถ้าตัวต้านทานดึงขึ้นจะเปิดใช้งาน ขาพอร์ต C ที่ระบุไว้เมื่อสภาพการตั้งค่าจะกลายเป็นที่ใช้งาน แม้ว่านาฬิกาไม่ได้ทำงาน	23,24,25 26,27,28

## 2.3 ภาษาซี (C Programming Language)

ภาษาซี (C Programming Language) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมทั่วไป ถูกพัฒนาครั้งแรกเพื่อใช้เป็นภาษาสำหรับพัฒนาระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (Unix Operating System) แทนภาษาแอสเซมบลี ซึ่งเป็นภาษาระดับต่ำที่สามารถกระทำในระบบฮาร์ดแวร์ได้ด้วยความรวดเร็ว แต่จุดอ่อนของภาษาแอสเซมบลีก็คือความยุ่งยากในการโปรแกรม ความเป็นเฉพาะตัว และความแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่อง เดนิส ริตชี (Dennis Ritchie) จึงได้คิดค้นพัฒนาภาษาใหม่นี้ขึ้นมาเมื่อประมาณต้นปี ค.ศ. 1970 โดยการรวบรวมเอาจุดเด่นของแต่ละภาษาระดับสูงผนวกเข้ากับภาษาระดับต่ำ เรียกชื่อว่า ภาษาซี เมื่อภาษาซี ได้รับความนิยมนมากขึ้น จึงมีผู้ผลิต compiler ภาษาซีออกมาแข่งขันกันมากมายทำให้เริ่มมีการใส่ลูกเล่นต่างๆ เพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อ ทาง American National Standard Institute (ANSI) จึงตั้งข้อกำหนดมาตรฐานของภาษาซีขึ้น เรียกว่า ANSI C เพื่อคงมาตรฐานของภาษาไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป

### โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมในภาษาซีทุกโปรแกรมจะประกอบด้วยฟังก์ชันอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันหลัก โดยโปรแกรมภาษาซีจะเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันหลัก ก่อน ในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบด้วย

1. Function Heading ประกอบด้วยชื่อฟังก์ชัน และอาจมีรายการของ argument (บางคนเรียก parameter) อยู่ในวงเล็บ

2. Variable Declaration ส่วนประกาศตัวแปร สำหรับภาษาซี ตัวแปรหรือค่าคงที่ทุกตัว ที่ใช้ในโปรแกรมจะต้องมีการประกาศก่อนว่าจะใช้งานอย่างไร จะเก็บค่าในรูปแบบใดเช่น interger หรือ real number

3. Compound Statements ส่วนของประโยคคำสั่งต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็นประโยคเชิงซ้อน (compound statement) กับ ประโยคนิพจน์ (expression statement) โดยประโยคเชิงซ้อนจะอยู่ในวงเล็บปีกกาคู่หนึ่ง { และ } โดยในหนึ่งประโยคเชิงซ้อน จะมีประโยคนิพจน์ที่แยกจากกันด้วยเครื่องหมาย semicolon (;) หลายๆ ประโยครวมกัน และ อาจมีวงเล็บปีกกาใส่ประโยคเชิงซ้อนย่อยเข้าไปอีกได้

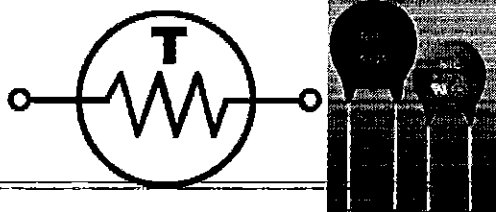
## 2.4 หัววัดอุณหภูมิ

หัววัดอุณหภูมิแต่ละชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติในการทำงานแตกต่างกัน สำหรับหัววัดที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในการวิจัยนี้มี ดังต่อไปนี้

### 2.4.1 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature-sensing) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ เช่น แมงกานีส, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดงและยูเรเนียม เป็นต้น โดยสาร

เหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ โดยใช้ตัวย่อ “TH” ซึ่งมีสัญลักษณ์และลักษณะ แสดงดังรูปที่ 2.2

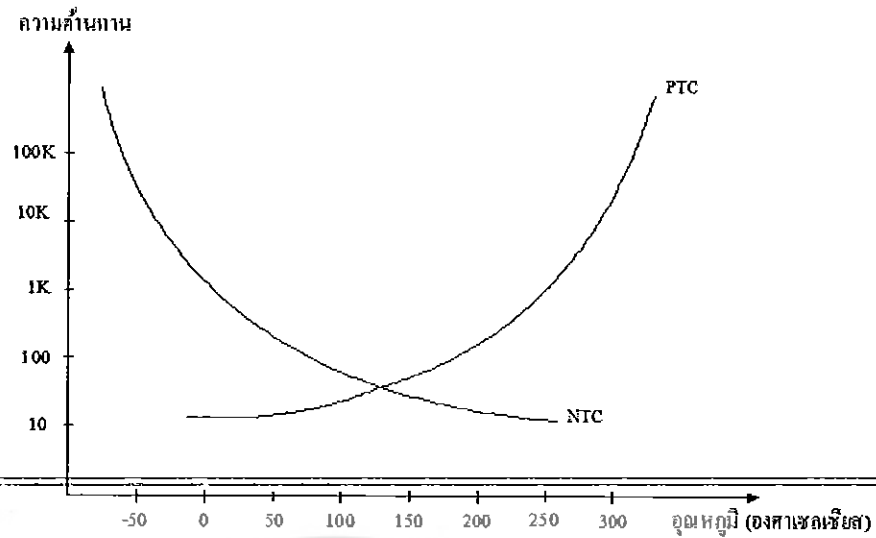


รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์

โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกันสองประเภทคือแบบ Positive Temperature Coefficients (PTC) และแบบ Negative Temperature Coefficients (NTC)

เทอร์มิสเตอร์สองประเภทนี้ซึ่งมีคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกันกล่าวคือแบบ PTC จะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่เรียกว่า knee หรือจุดช่วงที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ตัด-ต่อวงจร (switching point) ส่วน NTC จะตรงกันข้ามคือค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 2.3

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูงในการตรวจจับอุณหภูมิ(ความละเอียดของเทอร์มิสเตอร์จะขึ้นอยู่กับโมเดลและรายละเอียดของผู้ผลิตอุปกรณ์ยี่ห้อนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามเทอร์มิสเตอร์จะค่อนข้างมีข้อจำกัดเกี่ยวกับย่านการตรวจจับอุณหภูมิ (โดยทั่วไปจะมีย่านการใช้งานปกติที่ 0°C ถึง 100°C) และคงทนต่อสภาวะทางเคมีและไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานนาน ๆ



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC และ NTC

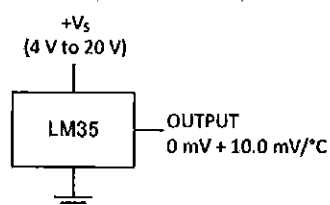
#### เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในโครงการ

สำหรับโครงการนี้จะใช้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC รุ่น TTC-103 ซึ่งมี Data sheet แสดงคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร
- มีช่วงอุณหภูมิในการทำงานอยู่ที่  $-30^{\circ}\text{C}$  ถึง  $125^{\circ}\text{C}$
- มีค่าความต้านทาน ( $R_0$ )  $10\text{k}\Omega$  ที่อุณหภูมิ ( $T_0$ )  $25^{\circ}\text{C}$  มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 5-10%

#### 2.4.2 หัววัดอุณหภูมิ LM35

LM35 เป็นอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิชนิดอนาล็อกที่มีเอาพุตเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยที่เอาพุตจะมีอัตราส่วนเป็นเชิงเส้นซึ่งจะให้แรงดันขึ้นกับอุณหภูมิคือ 10 มิลลิโวลต์ต่อ 1 องศาเซลเซียส โดยมีวงจรในการใช้งาน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการทำงานของ LM35

### คุณสมบัติของ lm35

- อุณหภูมิมีความเป็นเชิงเส้นกับแรงดัน output
- มีความแม่นยำในการวัด  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  ถึง  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิห้อง
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง  $-55^{\circ}\text{C}$  ถึง  $150^{\circ}\text{C}$

### 2.4.3 หัววัดอุณหภูมิไอซี DS18B20

DS18B20 เป็น IC วัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล ของ Dallas Semiconductor สามารถวัดอุณหภูมิเป็นหน่วยองศา C ในช่วง  $-55\text{C}$  ถึง  $125\text{C}$  ที่ความละเอียด 9-12 บิต และมีความแม่นยำอยู่ที่  $0.5\text{C}$  ในช่วง  $-10\text{C}$  ถึง  $85\text{C}$  ในกรณีที่เป็นตัวถังแบบ TO-92 นั้นจะมีโครงสร้าง และขาดังแสดงในรูปที่ 2.5

การสื่อสารและควบคุม DS18B20 นั้นสามารถทำได้โดยใช้บัสข้อมูลแบบ 1-wire ซึ่งใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวเท่านั้น ภายใน DS18B20 แต่ละตัวมีโค้ดประจำตัวขนาด 64 บิต ทำให้สามารถใช้งาน DS18B20 หลายตัวทำงานบนบัสแบบ 1 wire พร้อมกันได้ นอกจากนี้ DS18B20 ยังสามารถทำงานในโหมดพาราสิติก (Parasite Power Mode) ซึ่งเป็นการทำงานโดยไม่ใช้ไฟเลี้ยง แต่ใช้พลังงานจากสายสัญญาณ 1-wire ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับการวัดอุณหภูมิระยะไกล หรือในการใช้งานในที่ ๆ มีเนื้อที่จำกัด

โครงสร้างรีจิสเตอร์ภายในของ DS18B20 ไปด้วย SRAM Scratchpad ขนาด 9 ไบต์ และ EEPROM ขนาด 3 ไบต์ ซึ่งใช้เก็บค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) ต่ำสุด (TL) สำหรับเปรียบเทียบการเกิดสัญญาณข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้จะถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ Temperature ซึ่งมีขนาด 16 บิต ถ้าข้อมูลอุณหภูมิเป็นบวก S จะเป็น "1" แต่ถ้าข้อมูลอุณหภูมิเป็นลบ S จะเป็น "0" ในกรณีที่ DS18B20 ทำงานในโหมดความละเอียด 12 บิต บิตทุกบิตในรีจิสเตอร์ Temperature จะถูกใช้หมด แต่ในกรณีที่ทำงานในโหมด 9-11 บิต บิตล่าง (บิต 0 – บิต 2) จะไม่ถูกใช้งาน ซึ่งในการกำหนดโหมดความละเอียดการทำงาน ของ DS18B20 นั้นสามารถกำหนดได้ที่รีจิสเตอร์ Configuration ซึ่งโดยปกติเริ่มต้น DS18B20 จะทำงานในโหมด 12 บิตเต็ม และรีจิสเตอร์ควบคุม (Configuration Register) คุณสมบัติของ DS18B20:

- ให้แรงดันไฟเลี้ยง Vdd (หรือ Vcc) ได้ในช่วง 3.0V ถึง 5.5V
- มี 3 ขา (สำหรับตัวถัง TO-92) คือ Gnd (Pin 1) DQ (Pin 2) Vdd (Pin 3)
- ใช้งานได้สองแบบ: normal mode (ใช้ทั้ง 3 ขา) และ parasite power mode (ใช้เพียง 2 ขา)



รูปที่ 2.5 แสดงขาและตัวถัง TO-92 ของไอซี DS18B20

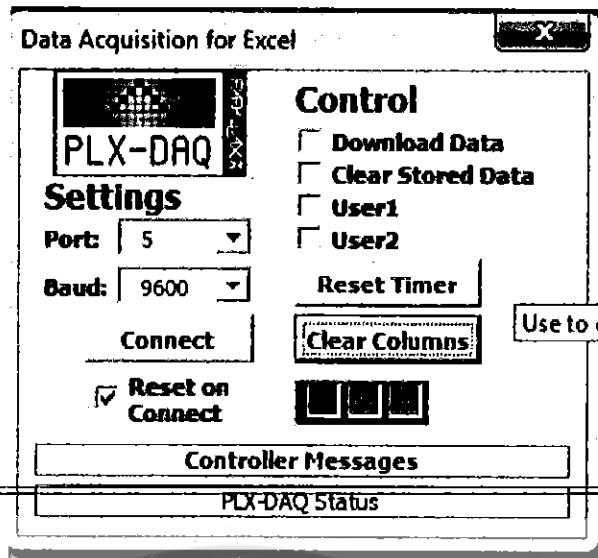
## 2.5 การศึกษาการใช้งานโปรแกรม PLX DAQ

โปรแกรม Parallax Data Acquisition tools หรือ (PLX-DAQ) เป็นซอฟต์แวร์ส่วนเสริมในการเก็บข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์และบันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปอร์ดิสก์ ข้อมูลในด้านการวิเคราะห์ในปฏิบัติการของเซ็นเซอร์แบบเรียลไทม์เพื่อการทดสอบทดลองเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล โดยลักษณะโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2.6

### รายละเอียด PLX-DAQ

PLX-DAQ เป็นเครื่องมือ add-on สำหรับ Microsoft Excel โดยข้อมูลที่ได้มาเป็นของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เราเชื่อมต่อกับหัววัดอุณหภูมิใด ๆ กับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถส่งข้อมูลโดยตรงลงใน Excel PLX-DAQ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ 2.6

- พล็อตกราฟหรือข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้ Microsoft Excel
- บันทึกได้มากถึง 26 คอลัมน์ของข้อมูล
- สามารถบันทึกข้อมูลเรียลไทม์ (hh: mm: ss) หรือวินาทีจากการตั้งค่า
- สามารถการอ่าน / เขียนข้อมูลในเซลล์ใด ๆ บนแผ่นงาน
- สามารถอ่าน / ตั้งใด ๆ ของ 4 ช่องทำเครื่องหมายในการควบคุมอินเตอร์เฟซ
- อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 128K



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะ โปรแกรม (PLX DAQ)

## 2.6 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย

ในการทดสอบประสิทธิภาพหัววัดอุณหภูมินั้น ต้องมีการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแบบดิจิตอลว่ามีมากหรือน้อย โดยการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

$$\% \text{ Relative Error} = \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (2.1)$$

โดยที่ % Relative Error คือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

$Y_i$  คือ ค่าจริงจากการวัด (โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน)

$X_i$  คือ ค่าที่วัดได้ (โดยวัดจากหัววัดอุณหภูมิ)



และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยสามารถหาได้โดย

$$\% \text{ Relative Error Average} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (2.2)$$

โดยที่ % Relative Error Average คือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

$Y_i$  คือ ค่าจริงจากการวัด (โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน)

$X_i$  คือ ค่าที่วัดได้ (โดยวัดจากหัววัดอุณหภูมิ)

$N$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์หารด้วยค่าที่แท้จริง



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินโครงการเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีดโดยมีวิธีดำเนินโครงการ 10 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
- 3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.3 ศึกษาการและเลือกใช้งานหัววัดอุณหภูมิ
- 3.4 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี
- 3.5 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม PLX-DAQ
- 3.6 ออกแบบการทดลองและออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ
- 3.7 ออกแบบการเขียนโปรแกรมในการควบคุมระบบ
- 3.8 ทดลองการทำงานเครื่องวัดอุณหภูมิในเตารีด
- 3.9 สรุปผลการดำเนินการ
- 3.10 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

#### 3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic Electric Irons)

จากการศึกษาหลักการทำงานเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ( Automatic Electric Irons )เตารีดชนิดนี้เป็นเตารีดไฟฟ้าที่มีเครื่องปรับอุณหภูมิหรือเทอร์โมสแตท ( Thermostat ) สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับผ้าที่ต้องการรีด(ดังแสดงในบทที่2 หัวข้อ 2.1)

#### 3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนที่ใช้เป็นตัวควบคุมหัววัดอุณหภูมิผ่านโปรแกรมภาษาซีและมีส่วนในการส่งข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ซึ่งรุ่นที่เราใช้งานคือไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU ซึ่งอยู่ในบอร์ดสำเร็จรูปอาคูโนเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เมอร์ ATmega328P ของแอทเมล (ATMEL) ใช้งานที่ความถี่ 16.00 เมกะเฮิร์ตซ์

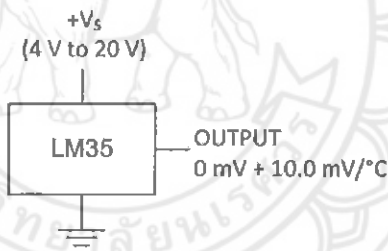
มีหน่วยความจำแฟลช (FLASH) 16 กิโลไบต์ SRAM 1 กิโลไบต์ EEPROM 512 ไบต์มีขาทั้งหมด 28 ขา โดยมีขา I/O ใช้งาน 22 ขาเป็นดิจิทัลจำนวน 14 ขาและ เป็น A TO D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ขา เพาเวอร์ซัพพลายต่อใช้งาน 5 โวลต์(ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2)

### 3.3 ศึกษาการและเลือกใช้งานหัววัดอุณหภูมิ

จากการศึกษาการและเลือกใช้งานหัววัดอุณหภูมิเป็นการศึกษาลักษณะเฉพาะของหัววัดอุณหภูมิได้คำสั่งและการต่อใช้งาน ประกอบด้วยหัววัด 3 ชนิดคือ Lm35 DS18B20 และเทอร์มิสเตอร์(ดังแสดงในบทที่2 หัวข้อ 2.4)

#### 3.3.1 หัววัดอุณหภูมิ LM35

LM35เป็นอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิชนิดอนาล็อกที่มีเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยที่เอาต์พุตจะมีอัตราส่วนเป็นเชิงเส้นซึ่งจะให้แรงดันขึ้นกับอุณหภูมิคือ  $10\text{ mV ต่อ } 1^{\circ}\text{C}$  มีการต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.1

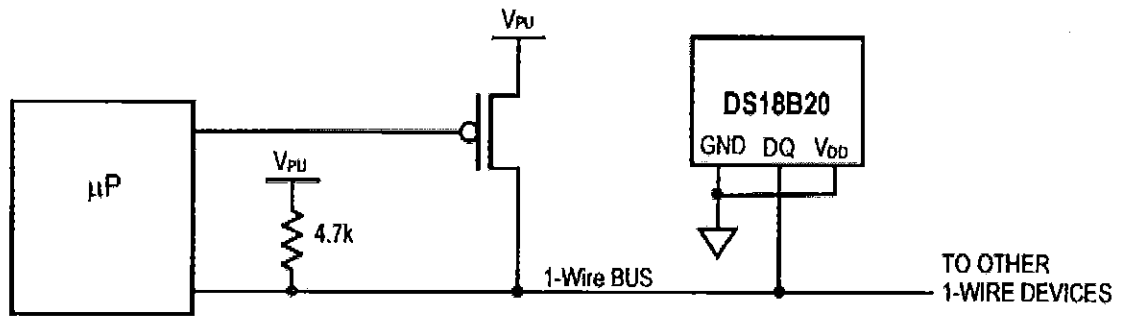


รูปที่ 3.1 การต่อ LM35 เพื่อใช้งาน

#### 3.3.2 หัววัดอุณหภูมิไอซี DS18B20

DS18B20 เป็น IC วัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล ของ Dallas Semiconductor สามารถวัดอุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส ในช่วง  $-55^{\circ}\text{C}$  ถึง  $125^{\circ}\text{C}$  ที่ความละเอียด 9-12 บิต และมีความแม่นยำอยู่ที่  $0.5^{\circ}\text{C}$  การสื่อสารและควบคุม DS18B20 นั้นสามารถทำได้โดยใช้บัสข้อมูลแบบ 1-wire ซึ่งใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวเท่านั้น มีการต่อใช้งานแบบ Parasite mode แสดงดังรูปที่

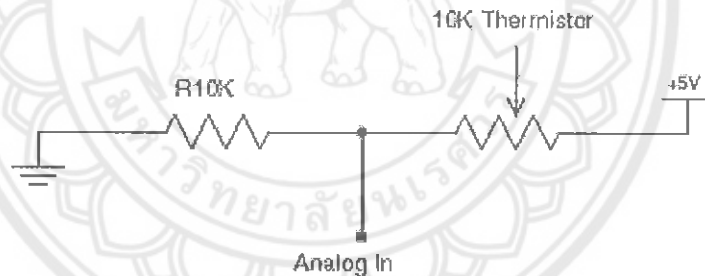
3.2



รูปที่ 3.2 การต่อ DS18B20 เพื่อใช้งาน

### 3.3.3 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature-sensing) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ เช่น แมงกานีส นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และยูเรเนียม เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและมีโครงสร้างคงทนต่อสภาวะทางเคมีและไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานนาน ๆ โดยมีการต่อใช้งานแบบแบ่งแรงดัน แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การต่อเทอร์มิสเตอร์เพื่อใช้งาน

### 3.4 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี

จากการศึกษาการใช้งานภาษาซี ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE เพื่อเป็นคำสั่งในการใช้งานหัววัดอุณหภูมิและส่งค่าอุณหภูมิสู่คอมพิวเตอร์ (ดังแสดงใน บทที่ 2 หัวข้อ 2.3)

### 3.5 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม PLX-DAQ

จากการศึกษาโปรแกรม PLX-DAQ ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนเสริมในการส่งข้อมูลสู่โปรแกรม Excel เพื่อจะใช้ในการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปบันทึกลงในโปรแกรม Excel แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง(ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5)

### 3.6 ออกแบบการทดลองและออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ

#### 3.6.1 ออกแบบจุดติดตั้งหัววัดในเตาไร้คน International JP 87

เตาไร้คน International JP87 เป็นรุ่นที่จะถูกใช้ในการทดลองหัววัดอุณหภูมิและ

ศึกษาโครงสร้างของเตาไร้คนนี้เพื่อออกแบบการทดลอง โดยมี กำลังไฟ 1000 วัตต์ ใช้ไฟเลี้ยง 220 - 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ น้ำหนัก 3.5 ปอนด์ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในเตาไร้คน International JP87

#### 3.6.2 ออกแบบการวางตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิ

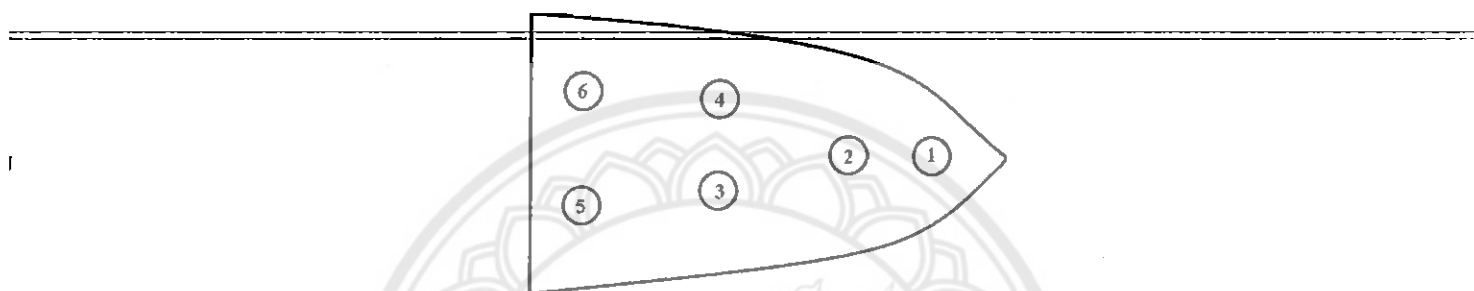
เนื่องจากหัววัดที่ใช้งานเป็นหัววัดอุณหภูมิแบบที่ต้องสัมผัสกับน้ำสัมผัสสบริเวณแผ่นทำความร้อนของเตาไร้คนไฟฟ้า การกำหนดตำแหน่งติดตั้งของหัววัดอุณหภูมิพิจารณาจากบริเวณแผ่นทำความร้อนของเตาไร้คนที่มีพื้นผิวเรียบและมีพื้นที่เพียงพอในการติดตั้ง ในการทดลองนี้ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้งของหัววัดอุณหภูมิไว้ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตำแหน่งที่ 1 ตรงกับแนวกึ่งกลางของเตาไร้คนห่างจากปลายสุดประมาณ 2 เซนติเมตร

ตำแหน่งที่ 2 ตรงกับกึ่งกลางตามแนวกึ่งกลางของเตาไร้คน

ตำแหน่งที่ 3 ห่างจากตำแหน่งที่ 2 ประมาณ 2 เซนติเมตร และห่างจากแนวกึ่งกลางของเตาไร้คน

ประมาณ 1 เซนติเมตร  
 ตำแหน่งที่ 4 ห่างจากตำแหน่งที่ 2 ประมาณ 2 เซนติเมตร และห่างจากแนวกึ่งกลางของเตารีด  
 ประมาณ 1 เซนติเมตร โดยอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งที่ 3  
 ตำแหน่งที่ 5 ห่างจากตำแหน่งที่ 3 ประมาณ 2 เซนติเมตรและห่างจากแนวกึ่งกลางของเตารีด  
 ประมาณ 1 เซนติเมตร  
 ตำแหน่งที่ 6 ห่างจากตำแหน่งที่ 4 ประมาณ 2 เซนติเมตรและห่างจากแนวกึ่งกลางของเตารีด  
 ประมาณ 1 เซนติเมตร โดยอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งที่ 5



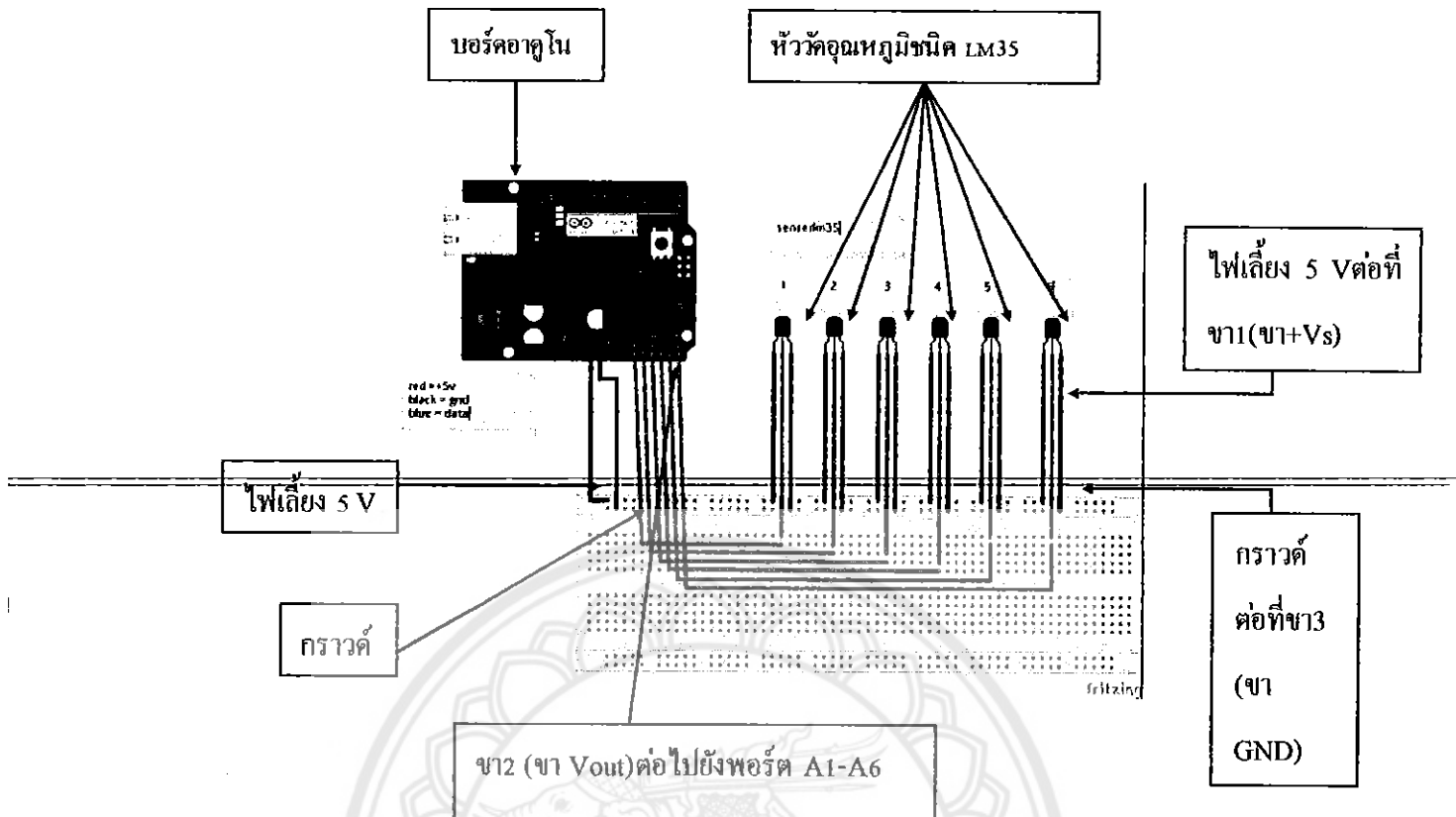
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งในการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ

### 3.6.3 ออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ

การออกแบบวงจรโดยการออกแบบจากการศึกษาหัววัดอุณหภูมิ(ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4) โดยออกแบบให้หัววัดอุณหภูมิต่อใช้งานพร้อมกัน 6 ตำแหน่ง โดยมีการใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์และกราวด์จาก บอร์ดอาดูโน โดยมีหัววัด 3 ชนิดดังต่อไปนี้

#### 3.6.3.1 ออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิชนิด LM35

วงจรในการต่อหัววัดอุณหภูมิชนิด LM35 นำมาต่อใช้งานพร้อมกัน 6 ตัว โดย  
 ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ต่อที่ขาหนึ่ง(ขา +Vs)และกราวด์ต่อที่ขาสาม(ขาGND)โดยที่ขาสอง(ขาVout)  
 ของหัววัดอุณหภูมิต่อไปยังพอร์ต A1-A6 ของบอร์ดอาดูโนแสดงดังรูปที่ 3.6

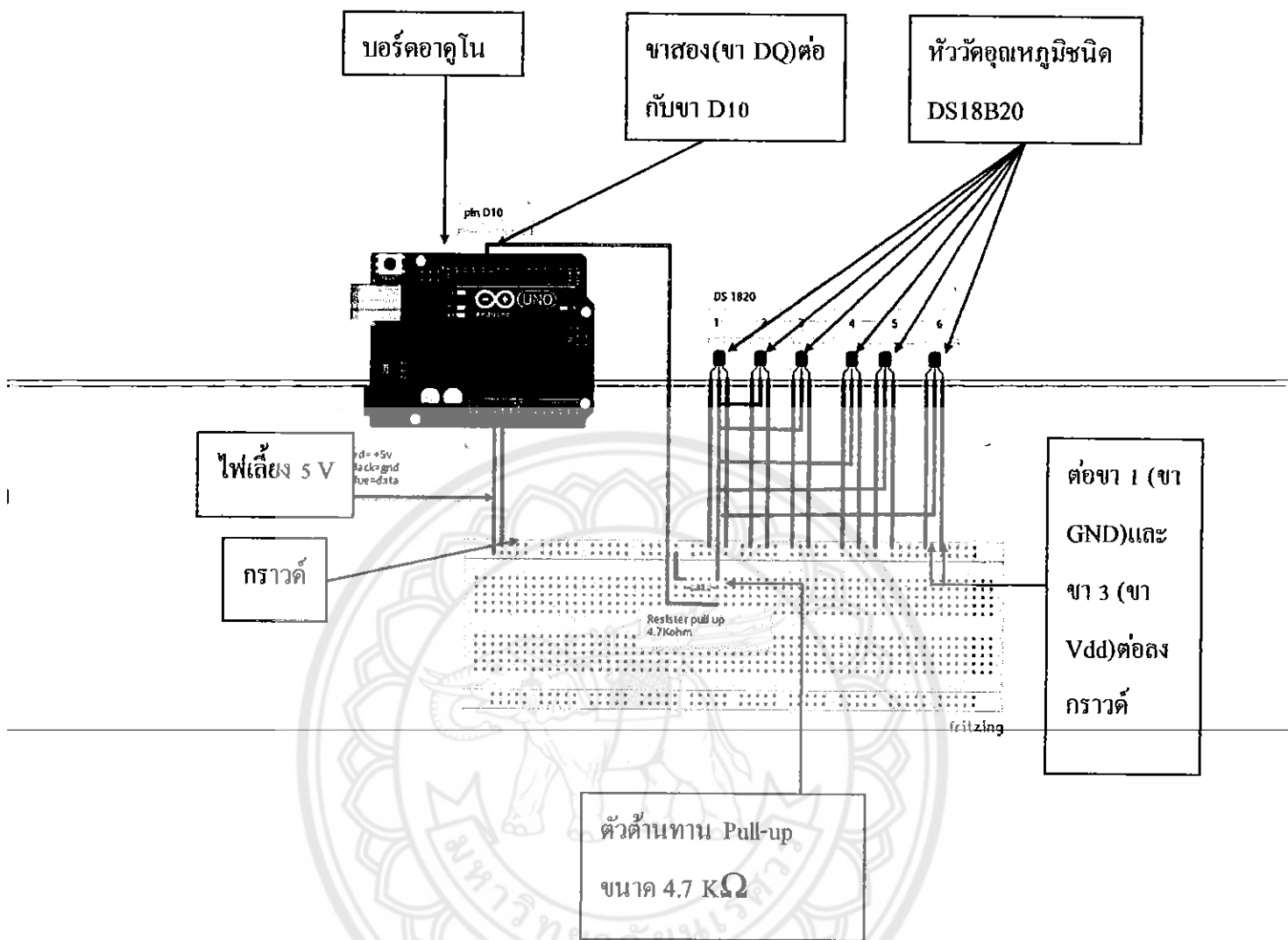


รูปที่ 3.6 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดLm35

### 3.6.3.2 ออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิชนิดDS18B20

วงจรในการต่อหัววัดอุณหภูมิชนิด DS18B20 นำหัววัดอุณหภูมิต่อแบบ Parasite mode ซึ่งต่อขาหนึ่ง (ขา GND) และขาสาม (ขา Vdd) ของหัววัดอุณหภูมิลงกราวด์โดยมีการต่อตัวต้านทาน Pull-up ขนาด 4.7 K $\Omega$  กับขาสอง (ขา DQ) และต่อเข้ากับขา D10 ของบอร์ดอาดูโน ดังรูปที่

3.7

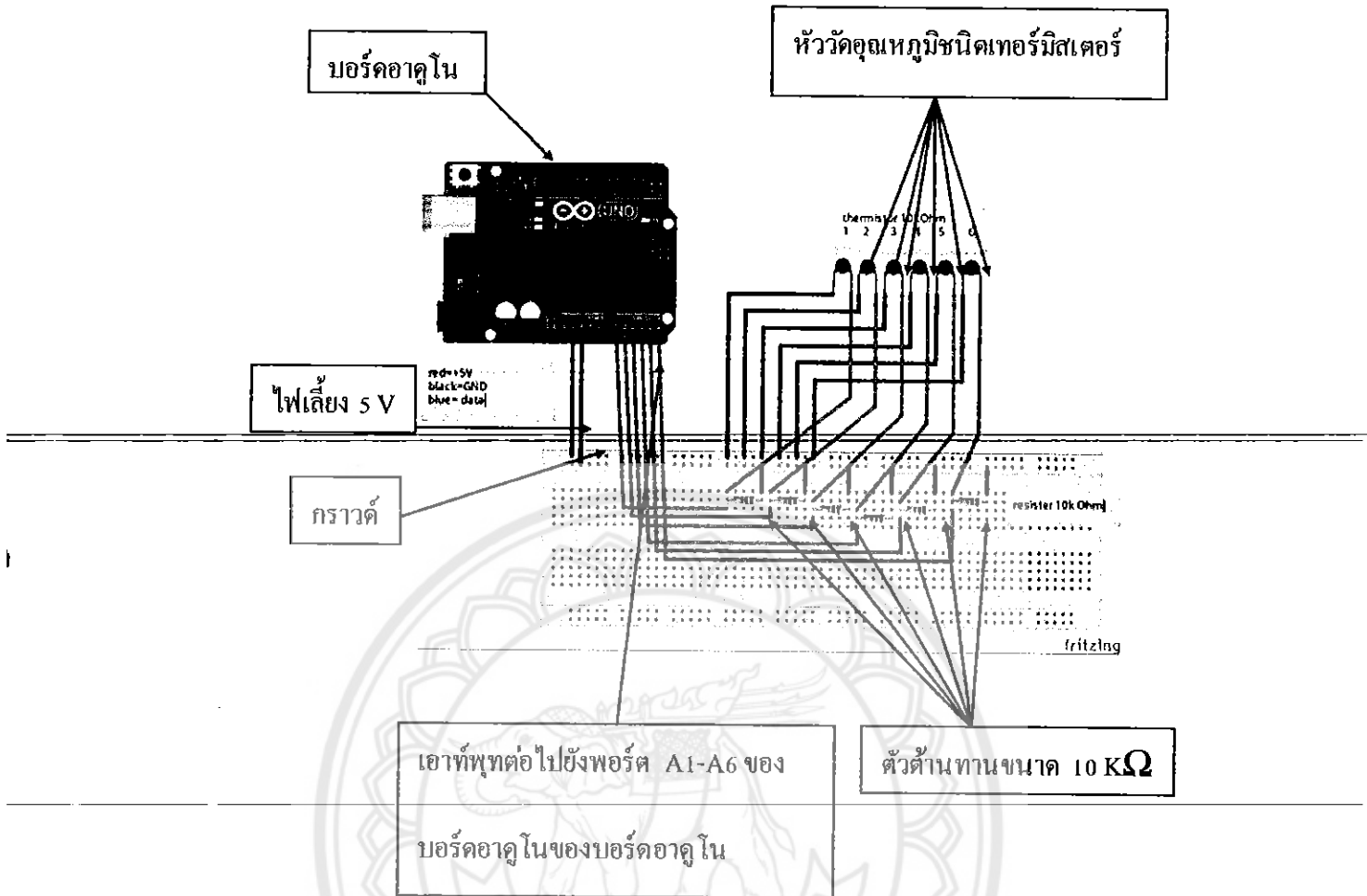


รูปที่ 3.7 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิ DS18B20

### 3.6.3.3 ออกแบบวงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์นำหัววัดอุณหภูมิมาต่อใช้งานพร้อมกันแล้วต่อใช้งานวงจรแบบแรงดัน โดยต่อกับตัวต้านทานขนาด  $10\text{ K}\Omega$  โดยไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ที่ขาต้านหนึ่งหัววัดอุณหภูมิและกราวด์ต่อที่ขาต้านหนึ่งของตัวต้านทานซึ่งเอาท์พุทของหัววัดอุณหภูมิอยู่ระหว่างหัววัดอุณหภูมิกับตัวต้านทาน ต่อไปยังพอร์ต A1-A6 ของบอร์ดอาคูโน ดังรูปที่ 3.8





รูปที่ 3.8 วงจรในการต่อใช้งานหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

### 3.7 ออกแบบการเขียนโปรแกรมในการแปลงค่าเอาต์พุตจากหัววัดเป็นอุณหภูมิ

ได้ทำการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานเพื่อแสดงผลอุณหภูมิที่วัดจากเตารีดและ ส่งข้อมูลไปยัง โปรแกรม PLX-DAQ (ดังแสดงในภาคผนวก ก)

### 3.8 ขั้นตอนการทดลองการทำงานหัววัดอุณหภูมิในเตารีดไฟฟ้า

การทดลองการทำงานของหัววัดอุณหภูมิในการทำงานเตารีดไฟฟ้านี้แบ่งขั้นตอนดังนี้

3.8.1 การทดลองเพื่อเลือกชนิดและหาค่าแห่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีดในขั้นตอนนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน

3.8.1.1 ทดลองมาตรฐานความร้อนที่ได้จากปุ่มปรับระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้า

เป็นการวัดอุณหภูมิของเตารีดผ่านดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แล้วนำมาเป็นค่าอ้างอิงในการทดลองเพื่อพิจารณาเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีด

3.8.1.2 ทดลองชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้าเป็นการนำชนิดหัววัดอุณหภูมิต่างๆมาทำการติดตั้งและทดลองในเตารีดนำมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาเลือกเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีด

3.8.2 ทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงแบบเรียลไทม์เมื่อทราบว่าชนิดหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำมาติดตั้งตำแหน่งเดียวกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิที่เลือกมาเปรียบเทียบกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

3.8.3 ทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าในขณะที่ใช้งานทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลดแล้วเก็บค่าในการทดลองมาเปรียบเทียบเพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ศึกษาการทดลองแล้วนำข้อมูลใช้โครงการควบคุมการทำงานของเตารีดในอนาคต

จากการกล่าวการทดลองดังกล่าว เป็นขั้นตอนในการทดลองที่จะทำการทดลองตามขั้นตอน โดยมีรายละเอียดในบทที่ 4

### 3.9 วิเคราะห์ผลการทดลองสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและสรุปผลการทดลองของหัววัดอุณหภูมิเตารีด โดยนำมาวิเคราะห์หาชนิดหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทดลองนี้ (ดังแสดงในบทที่ 4 และ 5)

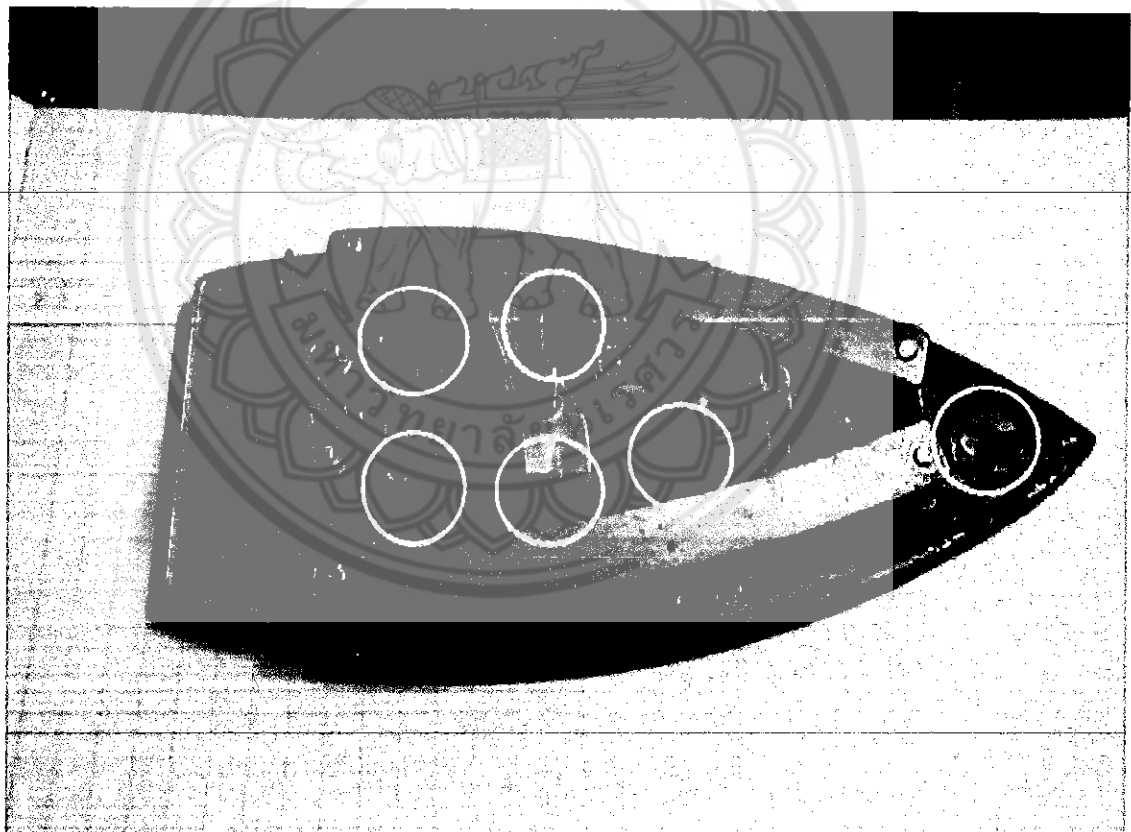
### 3.10 จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์

มีการแก้ไขปรับปรุงรูปเล่มเรียบเรียงข้อมูลพร้อมทั้งการจัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในการเลือกชนิดและตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า เริ่มต้นด้วยการทดลองมาตรฐานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ทดลองชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า ทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงแบบเรียลไทม์ และทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีโหลด และไม่มีโหลด โดยมีการเลือกใช้ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณแผ่นความร้อนจำนวน 6 ตำแหน่ง ซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงถึงการทดลองต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการอธิบาย แสดงดังรูปที่ 4.1 และมีผลการทดลองขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ

#### 4.1 การทดลองเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีด

ในการทดลองขั้นตอนนี้ ได้ทำการวัดอุณหภูมิบริเวณแผ่นความร้อนจำนวน ทั้ง 6 ตำแหน่ง โดยจะมีการเลือกใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์มาทดลองเพื่อเป็นอุณหภูมิในการเปรียบเทียบ และ หัววัดอุณหภูมิแต่ละ ชนิดมาใช้ทดลอง แล้วนำผลการทดลองจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และ หัววัดอุณหภูมิ มาเปรียบเทียบกัน หาชนิดหัววัดอุณหภูมิที่แสดงอุณหภูมิได้ใกล้เคียงมากที่สุดเพื่อเลือกชนิดที่เหมาะสม ซึ่งมีการทดลอง ดังนี้

##### 4.1.1 ทดลองมาตรฐานความร้อนที่ได้จากปุ่มปรับระดับความร้อนของเตาไฟฟ้า

เป็นการวัดอุณหภูมิของเตารีดผ่านดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์เพื่อเป็นค่าอ้างอิง ในการทดลอง ในการพิจารณาเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีด

ทำการทดลอง โดยถอดประกอบเตารีดเพื่อติดตั้งหัววัดอุณหภูมิของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในเตาในตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 4.1 แล้วหมุนสวิตช์ปรับอุณหภูมิของเตาเป็นระดับที่หนึ่ง เปิดเตาเพื่อทดลองเป็นเวลา 10 นาที บันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นผ่านวีดีโอแล้วบันทึกผลการทดลอง ปล่อยให้เตาเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องทดลองอีกครั้ง โดยการปรับอุณหภูมิของเตาเป็นระดับสอง บันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นผ่านวีดีโอแล้วบันทึกผลการทดลองปล่อยให้เตาเย็น แล้วทดลองอีกครั้ง โดยการปรับอุณหภูมิของเตาเป็นระดับสาม บันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นผ่านวีดีโอแล้วบันทึกผลการทดลองปล่อยให้เตาเย็นแล้วทำการถอดประกอบเตาทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในเตาในตำแหน่งที่ 2 แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนที่ผ่านมามาครบ 6 ตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.1



วีดีโอที่บันทึก

เทอร์โมมิเตอร์อ้างอิง

รูปที่ 4.2 การบันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ผ่านวีดีโอ

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละระดับอุณหภูมิทดลองมาตรฐานความร้อนที่ได้จากปุ่มปรับระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้า

ตำแหน่งที่ติดตั้ง หัววัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิเตารีดระดับที่หนึ่ง		อุณหภูมิเตารีดระดับที่สอง		อุณหภูมิเตารีดระดับที่สาม	
	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )
ตำแหน่งที่1(t1)	135	150	138	154	150	175
ตำแหน่งที่2(t2)	134	155	137	156	150	180
ตำแหน่งที่3(t3)	131	155	135	154	145	178
ตำแหน่งที่4(t4)	130	155	138	154	152	178
ตำแหน่งที่5(t5)	110	125	121	130	130	150
ตำแหน่งที่6(t6)	111	125	120	128	128	145

จากตารางที่ 4.1 เมื่อหมุนสวิตช์ปรับอุณหภูมิของเตารีดตามระดับความร้อน จะแสดงค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละระดับอุณหภูมิเตารีดซึ่งอุณหภูมิจะมีการขึ้นสูงในช่วงแรกแล้วอุณหภูมิจะการขึ้นลง ซ้ำๆ กันตลอดการใช้งาน ทำการบันทึกอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ยที่ตำแหน่งติดตั้งแต่ละตำแหน่ง ทั้งหมดหกตำแหน่ง โดยตัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในครั้งแรกเป็นอุณหภูมิที่สูงเกิน พร้อมทั้งทำการจดบันทึกอุณหภูมิ พบว่าตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอุณหภูมิเตารีดระดับที่สามมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 150 องศาเซลเซียส และสูงสุดเฉลี่ย 180 องศาเซลเซียส

จากการทดลองยังพบว่าการกระจายความร้อนบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของเตารีดมีระดับความร้อนสูงสุด ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวน่าจะเกิดจาก ขดลวดนิโครมที่ถูกออกแบบให้ลักษณะ โค้งคล้ายเกือกม้า นำความร้อนจากทุกส่วนของด้านในเกือกม้าไปยัง ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของเตารีด ทำให้ตำแหน่งนี้ได้รับความร้อนสะสมมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ โดยแสดงค่าระดับของอุณหภูมิสูง

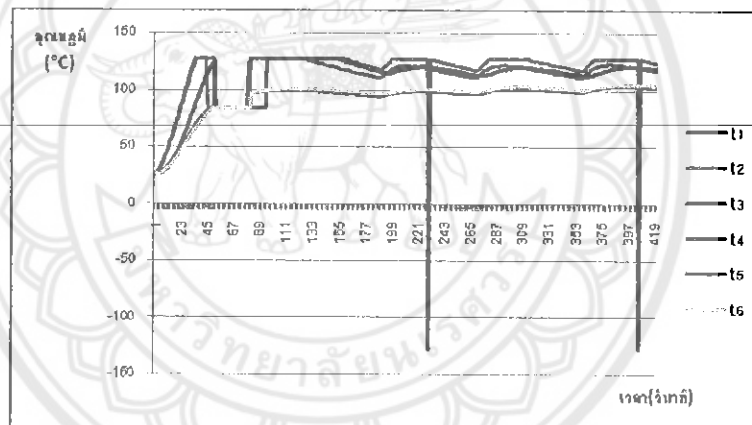
#### 4.1.2 ทดลองชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า

การทดลองชนิดของหัววัดอุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า กำหนดชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่นำมาทดลองรวม 3 ชนิด คือ DS18B20 LM35 และเทอร์มิสเตอร์

#### 4.1.2.1 ผลการทดลองหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 วัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า

ทำการทดลองติดตั้งหัววัดอุณหภูมิชนิด DS18B20 ไว้ในเตารีดบนแผ่นความร้อนจำนวน 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.1 โดยทดลองหัววัดอุณหภูมินี้ ที่ระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้าทั้ง 3 ระดับ และ กำหนดเวลาให้เตารีดทำงานเป็นเวลา 10 นาที แสดงผลการทดลอง (ระดับวินาที) โดยใช้ โปรแกรม โปรแกรมพาราแลกซ์ดาต้าแอคควิซิชัน ทูล (Parallax Data Acquisition tools : PLX-DAQ) บันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปรดชีต (spreadsheet)

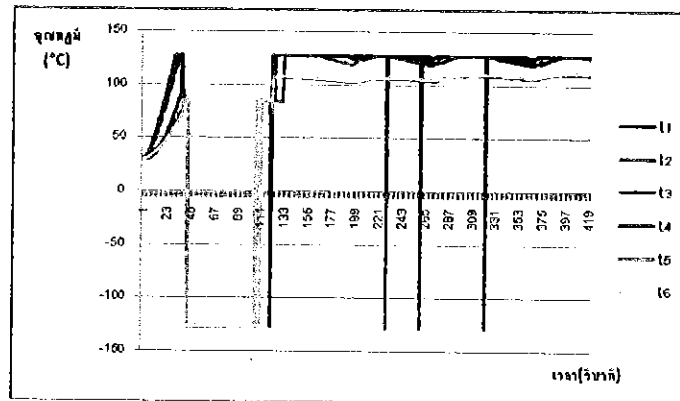
เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่หนึ่งพบว่าระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ 11-16 ปรับสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ 11-14 สูงถึง 127 องศาเซลเซียส กราฟ 15-16 สูงถึง 100 องศาเซลเซียส ค่าของอุณหภูมิที่ได้จะรักษาระดับคงที่ที่อุณหภูมินี้ จากนั้นหัววัดจะหยุดทำงาน (แสดงค่าอุณหภูมิตดลป) แล้วเมื่ออุณหภูมิลดลงจะ กลับมาแสดงค่าอุณหภูมิเดิม สลับเป็นช่วง ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่หนึ่ง

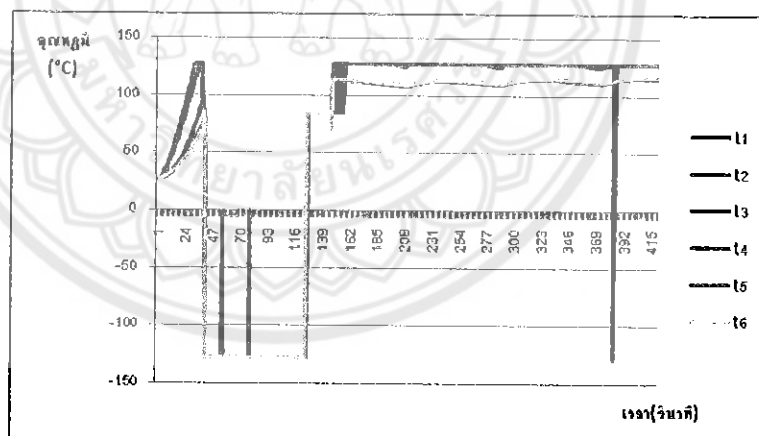
เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่สอง พบว่าระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ 11-16 ปรับสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ 11-14 สูงถึง 130 องศาเซลเซียส กราฟ 15-16 สูงถึง 110 องศาเซลเซียส ค่าของอุณหภูมิที่ได้จะรักษาระดับคงที่ที่อุณหภูมินี้ จากนั้นหัววัดจะหยุดทำงาน

จะหยุดทำงาน แสดงค่าอุณหภูมิตดลปแล้วเมื่ออุณหภูมิลดลงจะ กลับมาแสดงค่าอุณหภูมิเดิม สลับเป็นช่วง ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อนจากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่สอง

เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่สาม พบว่า ระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ l1-16 ปรับสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ l1-14 สูงถึง 127.98 องศาเซลเซียส กราฟ l5-16 สูงถึง 120 องศาเซลเซียส ค่าของอุณหภูมิที่ได้จะรักษาระดับคงที่ที่อุณหภูมินี้ จากนั้น หัววัดอุณหภูมิจะหยุดทำงาน (แสดงค่าอุณหภูมิตดลบ) แล้วเมื่ออุณหภูมิลดลงจะกลับมาแสดงค่าอุณหภูมิเดิม สลับเป็นช่วง ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อนจากหัววัดอุณหภูมิ DS18B20 ความร้อนระดับที่สาม

ส่วนรูปผลการทดลองของ DS18B20 แสดงผลติดลบน่าจะเกิดจากการประมวลผลของโปรแกรมที่แสดงออกมา เมื่อ DS18B20 ตรวจจับอุณหภูมิเกินกว่าขอบเขตของคาต้าชีท โอเวอร์เรจ Data sheet (Over range)

#### 4.1.2.2 ผลการทดลองหัววัดอุณหภูมิ LM35 วัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า

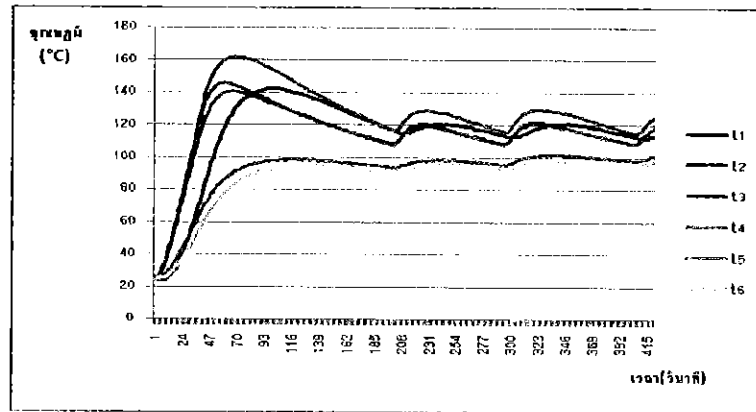
ทำการทดลองโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิชนิด LM35 ไว้ในเตารีดบนแผ่นความร้อนจำนวน 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.1 โดยทดลองหัววัดอุณหภูมินี้ที่ระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้าทั้ง 3 ระดับ และ กำหนดเวลาให้เตารีดทำงานเป็นเวลา 10 นาที แสดงผลการทดลอง (ระดับวินาที) โดยใช้โปรแกรมพาราแลคคาต้าแอกคิวชั่น บันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปรดชีต เลือกค่าที่แสดงเริ่มที่นาฬิกาที่ 3 เป็นต้นไป โดยตัดค่าที่แสดงอุณหภูมิในช่วงเริ่มทำงานของเตารีดออก แล้ววิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเฉพาะช่วงที่เตารีดทำงานลงที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2-แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของความร้อนทั้ง 3 ระดับที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ LM35

ตำแหน่งที่ติดตั้ง หัววัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิเตารีดระดับที่หนึ่ง		อุณหภูมิเตารีดระดับที่สอง		อุณหภูมิเตารีดระดับที่สาม	
	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )
ตำแหน่งที่1(t1)	93.75	122.07	102.54	131.84	127.93	143.55
ตำแหน่งที่2(t2)	96.68	129.88	106.45	141.11	133.3	156.74
ตำแหน่งที่3(t3)	93.75	122.07	101.07	130.37	124.02	143.55
ตำแหน่งที่4(t4)	93.26	121.09	102.05	131.84	126.46	144.04
ตำแหน่งที่5(t5)	89.36	105.47	95.7	112.79	108.89	122.56
ตำแหน่งที่6(t6)	87.40	102.54	93.75	109.37	105.96	118.65

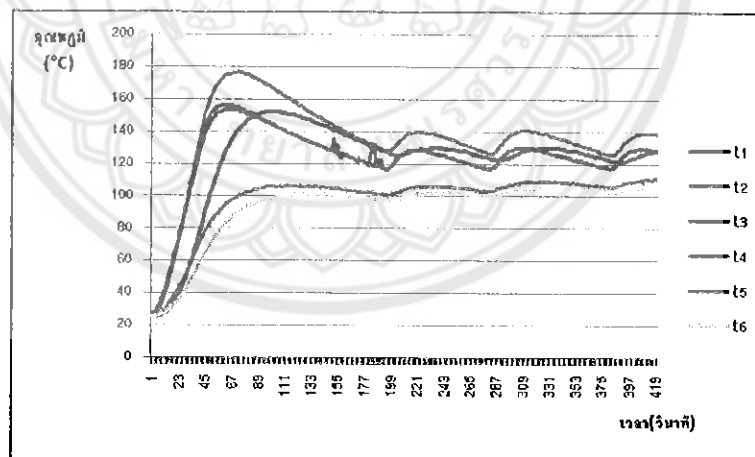
เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่หนึ่ง พบว่า ระดับอุณหภูมิมบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ LM35 ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ t1-t6 ปรับสูงขึ้น อุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ t1 t3 และ t4 เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 93.26-93.75 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 121.09 - 122.07 องศาเซลเซียส กราฟ t5 และ t6 เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 87.40-89.36 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 102.54 - 105.47 องศาเซลเซียส กราฟ t2 ต่ำสุดที่ 96.68 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 129.88 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.6





รูปที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ LM35 ความร้อนระดับที่หนึ่ง

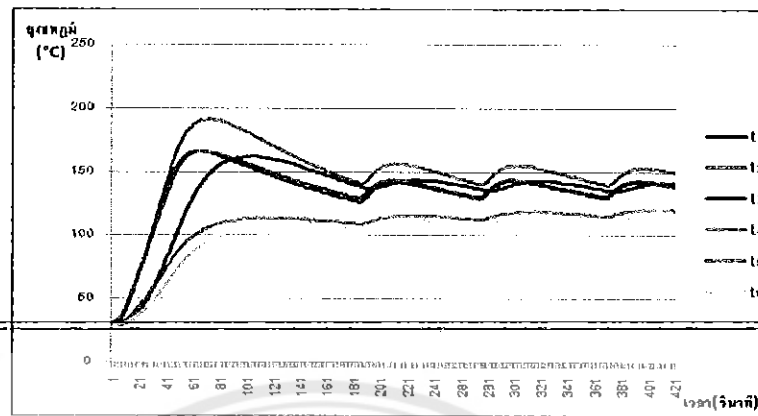
เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่สอง พบว่า ระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีด ไฟฟ้าที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ LM35 ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วยกราฟ 1-6 ปรับสูงขึ้น อุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ 1-3 และ 4 เหลือใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 101.07–102.54 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 130.37–131.84 องศาเซลเซียส กราฟ 5 และ 6 เหลือใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 93.75- 95.70 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 109.37 – 112.79 องศาเซลเซียส กราฟ 12 ต่ำสุดที่ 106.45 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 141.11 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิ LM35 ความร้อนระดับที่สอง

เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่สาม พบว่า ระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีด ไฟฟ้าที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิ LM35 ทั้ง 6 ตำแหน่งซึ่งถูกแสดงด้วยกราฟ 1- 6 ปรับสูงขึ้น อุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ 1-3 และ 4 เหลือใกล้เคียงกันคือ ต่ำสุดที่ 124.02 – 127.93 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 143.55 – 144.04 องศาเซลเซียส กราฟ 5 และ 6 เหลือใกล้เคียงกัน

คือ ค่าสุดที่ 105.96- 108.89 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 118.65 – 122.56 องศาเซลเซียส กราฟ 12 ค่าสุดที่ 133.30 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 156.74 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อนจากหัววัดอุณหภูมิ LM35 ความร้อนระดับที่สาม

จากรูปผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าหัววัดอุณหภูมิ LM35 นั้น แม้สามารถตรวจจับอุณหภูมิได้ทุกระดับความร้อนที่ตั้งค่าด้วยปุ่มปรับความร้อนแต่ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าระดับความร้อนที่ตั้งประมาณ 20 องศาเซลเซียส

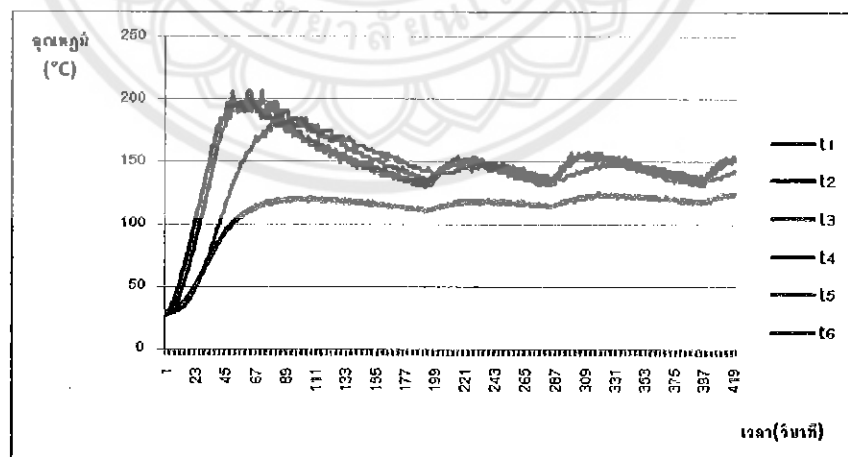
#### 4.1.2.3 ผลการทดลองหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า

ทำการทดลองติดตั้งหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์ไว้ในเตารีดบนแผ่นความร้อนจำนวน 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.1 โดยทดลองหัววัดอุณหภูมินี้ ที่ระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้าทั้ง 3 ระดับ และ กำหนดเวลาให้เตารีดทำงานเป็นเวลา 10 นาที แสดงผลการทดลอง (ระดับวินาที) โดยใช้โปรแกรมพาราแลคคาต้าแอกคิวชั่นทูล บันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปรดชีต เลือกค่าที่แสดงเริ่มที่นาฬิกาที่ 3 เป็นต้นไป โดยตัดค่าที่แสดงอุณหภูมิในช่วงเริ่มทำงานของเตารีดออก แล้ววิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเฉพาะช่วงที่เตารีดทำงานคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิค่าสุดและสูงสุดของความร้อนทั้ง 3 ระดับที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

ตำแหน่งที่ติดตั้ง หัววัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิเตาไฟระดับที่หนึ่ง		อุณหภูมิเตาไฟระดับที่สอง		อุณหภูมิเตาไฟระดับที่สาม	
	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )	Min(°C )	Max(°C )
ตำแหน่งที่1(t1)	135.66	148.97	137.25	154.09	151.56	174.41
ตำแหน่งที่2(t2)	134.14	156.81	137.25	156.81	151.56	179.12
ตำแหน่งที่3(t3)	131.15	154.09	134.14	154.09	146.76	174.41
ตำแหน่งที่4(t4)	131.15	156.81	137.25	156.81	151.56	179.12
ตำแหน่งที่5(t5)	111.35	124.73	119.36	132.54	129.81	148.97
ตำแหน่งที่6(t6)	110.56	123.62	117.34	129.81	128.4	144.68

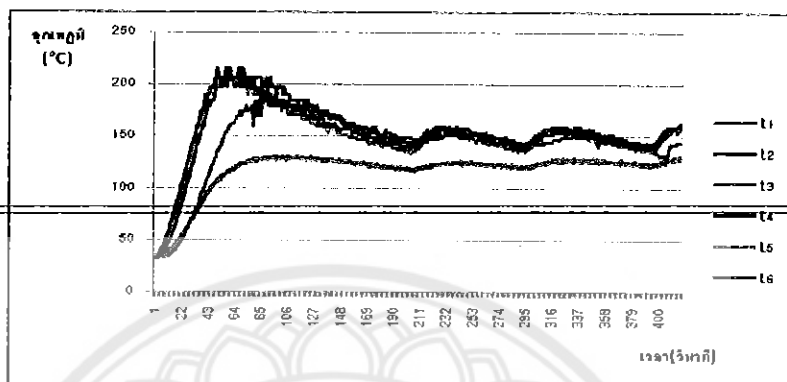
เมื่อตั้งไม่ปรับระดับความร้อนระดับที่สอง พบว่า ระดับอุณหภูมิตั้งบนแผ่นความร้อนของเตาไฟที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ t1- t6 ปรับสูงขึ้นอุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตาไฟ กราฟ t1-t4 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ค่าสุดที่ 131.15 – 135.66 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 148.97 – 156.81 องศาเซลเซียส กราฟ t5 และ t6 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ค่าสุดที่ 110.56-111.35 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 123.62 – 124.73 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ความร้อนระดับที่หนึ่ง

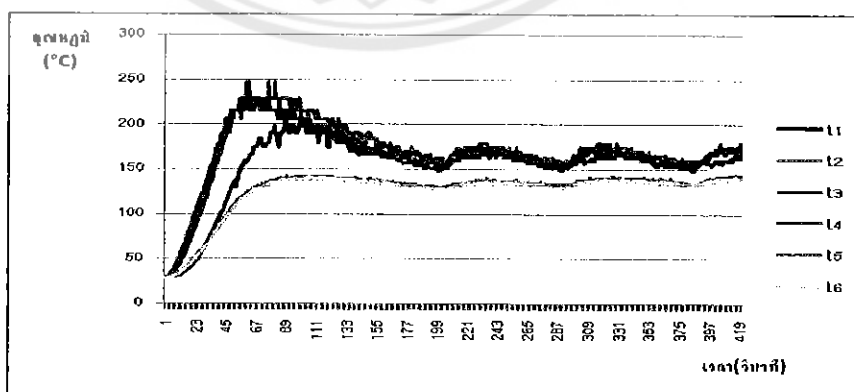
เมื่อตั้งไม่ปรับระดับความร้อนระดับที่สาม พบว่า ระดับอุณหภูมิตั้งบนแผ่นความร้อนของเตาไฟที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ t1- t6 ปรับ

สูงขึ้นอุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ t1-t4 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 146.76 – 151.56 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 174.41 – 179.12 องศาเซลเซียส กราฟ t5 และ t6 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 128.40-129.81 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 144.68 – 148.97 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ความร้อนระดับที่สอง

เมื่อตั้งปุ่นปรับระดับความร้อนระดับที่หนึ่ง พบว่า ระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ t1- t6 ปรับสูงขึ้นอุณหภูมิของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า กราฟ t1- t4 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 131.15 – 135.66 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 148.97 – 156.81 องศาเซลเซียส กราฟ t5 และ t6 เกลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ต่ำสุดที่ 110.56-111.35 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 123.62 – 124.73 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ความร้อนระดับที่สาม

จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า เพราะสามารถตรวจจับอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า ได้ทุกระดับตามการปรับ ของปุ่มปรับอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้าและมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจึงจำกัดอยู่ในช่วงแคบๆและเป็นช่วง ๆ

เมื่อนำผลการทดลองของการวางหัววัดอุณหภูมิทั้งทั้งหมด โดยนำหัววัดอุณหภูมิ ประกอบด้วย Lm35 Ds18B20 และ เทอร์มิสเตอร์มาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง จากอุณหภูมิ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ตามแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ Lm35 Ds18B20 และ เทอร์มิสเตอร์มาเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิอ้างอิง

ตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัด อุณหภูมิ	อุณหภูมิอ้างอิง (°C)	Lm35(°C)	Ds18B20(°C)	Thermistor(°C)
ตำแหน่งที่1(t1)	175	143.55	127.98	174.41
ตำแหน่งที่2(t2)	180	156.74	127.98	179.12
ตำแหน่งที่3(t3)	178	143.55	127.98	174.41
ตำแหน่งที่4(t4)	178	144.04	127.98	179.12
ตำแหน่งที่5(t5)	150	122.56	115.78	148.97
ตำแหน่งที่6(t6)	145	118.65	113.08	144.68

จากผลการทดลองตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบชนิดหัววัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิอ้างอิง ของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ จากตารางที่ 4.4 หาเปอร์เซ็นต์หาความคลาดเคลื่อน โดยคำนวณจากสมการที่ 2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์หาชนิดหัววัดที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ว่าชนิดหัววัดอุณหภูมิแต่ละ มีความคลาดเคลื่อนกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิอ้างอิง จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรอ์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของอุณหภูมิจากหัววัดชนิดต่างๆเทียบกับดิจิตอล เทอร์โมมิเตอร์อ้างอิง

ตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ	Lm35	Ds18B20	Thermistor
ตำแหน่งที่1(t1)	17.9	26.8	0.37
ตำแหน่งที่2(t1)	12.9	28.1	0.48
ตำแหน่งที่3(t1)	19.3	28.1	2
ตำแหน่งที่4(t1)	19	28.1	0.61
ตำแหน่งที่5(t1)	18.29	22.81	0.6
ตำแหน่งที่6(t1)	18.17	22.0	0.22

จากตารางตารางที่ 4.5 หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยนำค่าตาราง แสดงความแม่นยำ มาคำนวณตามทฤษฎีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนพบว่า หัววัดอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน ยังมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนยิ่งน้อยยิ่งมีความแม่นยำตรงกับอุณหภูมิอ้างอิงมาก จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด คือ เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) โดยที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ประมาณ 0.2-2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์มาใช้งานกับเตารีด

ส่วนการตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิถึงแม้ว่าหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์จะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงได้แต่อุณหภูมิที่กำหนดตามค่าชี้ตของเทอร์มิสเตอร์ นั้นคือ 100 - 150 แต่จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่วัดจากตำแหน่งติดตั้งแต่ละจุดในความร้อนระดับสามซึ่งเป็นระดับสูงสุด อุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งติดตั้งที่ 1 คือ 175 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งติดตั้งที่ 2 คือ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งติดตั้งที่ 3 และ 4 คือ 178 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งติดตั้งที่ 5 และ 6 คือ 145 องศาเซลเซียส ดังนั้นตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานในเตารีดคือตำแหน่งที่ 5 และ 6 ซึ่งอยู่ท้ายเตารีดที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อยืดอายุการใช้งานของหัววัดอุณหภูมิที่สามารถทนความร้อนได้ต่ำ

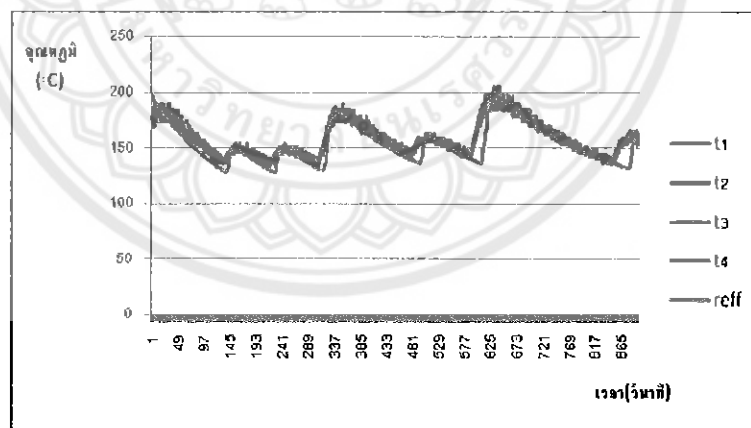
## 4.2 ทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ อ้างอิงแบบเรียลไทม์

การทดลองเพื่อเลือกชนิดและหาตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานกับเตารีดเราได้ข้อสรุปที่จะใช้หัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์ ดังนั้นจึงมีการทดลองความเร็วการตอบสนองของหัววัดอุณหภูมิโดยทำการทดลองใช้งานเทอร์มิสเตอร์ร่วมกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงวัดอุณหภูมิในตำแหน่งเดียวกันพร้อมทั้งปรับอุณหภูมิเตารีดในขณะทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกหัววัดชนิดเทอร์มิสเตอร์ไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเตารีด

ทำการทดลอง โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และหัววัดอุณหภูมิชนิด

เทอร์มิสเตอร์จำนวน 4 ตัว ไว้ในเตารีดบนแผ่นความร้อนในตำแหน่ง 2 ดังรูปที่ 4.1 โดยทดลองหัววัดอุณหภูมิที่ระดับความร้อนระดับที่สาม ปล่อยให้เตาทำงานเป็นเวลา 5 นาที หมุนปรับสวิตซ์อุณหภูมิเป็นเบอร์ 2 ปล่อยให้เตาทำงานเป็นเวลาอีก 5 นาทีแล้วหมุนปรับสวิตซ์อุณหภูมิเป็นเบอร์ 1 ปล่อยให้เตาทำงานเป็นเวลาอีก 5 นาทีจนครบเวลา โดยใช้โปรแกรมพาราแลคคาต้า แอคทิวชั่นทูด บันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปรดชีต

เมื่อตั้งปุ่มปรับระดับความร้อนระดับที่สาม พบว่าระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ซึ่งถูกแสดงด้วย กราฟ t1-t4 และกราฟอุณหภูมิอ้างอิง (ref) ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อน จากหัววัดอุณหภูมิดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์  
ความร้อนระดับที่สามเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง

จากทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์มีเตอร์อ้างอิงแบบเรียลไทม์ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ตำแหน่งที่ พบว่าค่าของอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวและดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคล้ายกัน

โดยมีการขึ้นลงของอุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 ทำให้เราทราบว่าหัววัดอุณหภูมิชนิดสามารถใช้งานในเตารีดที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดเวลาได้ แต่มีความแตกต่างในช่วงเปลี่ยนผ่านอุณหภูมิจากขึ้นเป็นลง มากกว่าในส่วนอื่นเนื่องด้วยหัววัดของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงเป็นชนิดเทอร์โมคัปเปิลทำให้ความเร็วในการตอบสนองแตกต่างจากหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์

#### 4.3 ทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีไหลด และไม่มีไหลด

ในการทดลองขั้นตอนนี้จะเป็นการนำหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์มาทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงบนแผ่นความร้อนของเตารีดในขณะรีดผ้าและ ไม่รีดผ้า โดยจะมีการนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้ทราบความแตกต่างของการทำงานของเตารีด

##### 4.3.1 ทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีไหลด (ขณะไม่รีดผ้า)

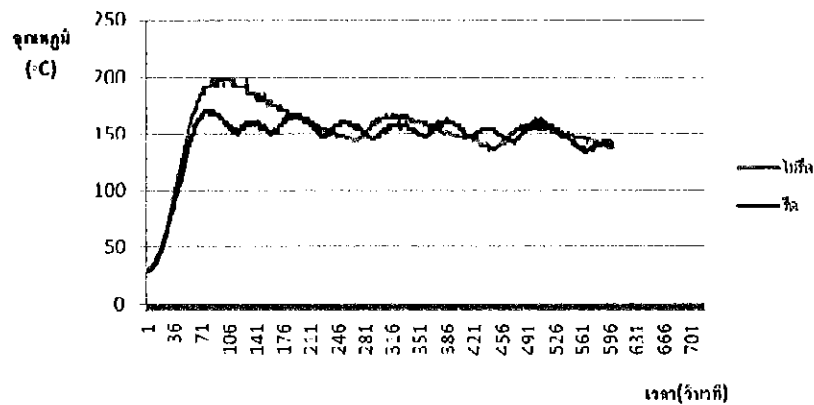
ทำการต่อหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้งหมด 3 ตัวพร้อมทั้งเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโนกับคอมพิวเตอร์ที่พอร์ทยูเอสบีผ่านทางสายคอนเนคเตอร์ทำการเบิร์นโค้ดคำสั่งหัววัดเทอร์มิสเตอร์ลงในบอร์ดอาดูโนทำการถอดประกอบเตารีดทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ไว้ในเตารีดในตำแหน่งที่ 2 5 และ 6 ตามรูปที่ 4.1 ประกอบเตารีดกลับเพื่อทำการทดลอง โดยเปิดโปรแกรมพาราแลคคาต้าแอกคิวชั่นทูลขึ้นมาพร้อมทั้งเลือกพอร์ทของโปรแกรมให้ตรงกับบอร์ดอาดูโน หมุนปรับอุณหภูมิของเตารีดเป็นระดับหนึ่งเปิดเตารีดพร้อมกับคลิกที่ปุ่มคอนเนคในโปรแกรมพาราแลคคาต้าแอกคิวชั่นทูลทันทีปล่อยให้เตารีดทำงานเป็นเวลา 10 นาที บันทึกข้อมูลผ่านโปรแกรมพาราแลคคาต้าแอกคิวชั่นทูล ปล่อยให้เตารีดเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องทดลอง

##### 4.3.2 ทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีไหลด (ขณะรีดผ้า)

การทดลองและบันทึกผลเมื่อมีการรีดผ้าจะมีขั้นตอนการทดลองเมื่อการทดลองโดยไม่รีดผ้าแต่ละต่างออกไปคือเมื่อมีการเปิดใช้งานเตารีดจะทำการเตารีดไปรีดผ้าแล้วมีการเลื่อนเตารีดไปมาตลอดการทดลองในเตารีดทั้งสองตัวทำการทดลองเหมือนกัน

โดยนำผลการทดลองวัดอุณหภูมิของเตารีดมาเปรียบเทียบกัน โดยได้เอาอุณหภูมิของเตารีดที่ตำแหน่งติดตั้งที่ 2 ระดับอุณหภูมิระดับสาม พบว่าระดับอุณหภูมิค่าสุดของทั้งที่มีไหลด และ ไม่มีไหลด มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับระดับอุณหภูมิสูงสุดของทั้งที่มีไหลด และ ไม่มีไหลด มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน แต่ความถี่ของการปรับอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ของการมีไหลดมีสูงกว่าการไม่มีไหลด เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่เท่ากัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.13





รูปที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนแผ่นความร้อนจากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ขณะใช้งานทั้งที่มีไอลด และ ไม่มีไอลด

จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง ในขณะที่ ไม่รีดผ้า (ค่าจากกราฟในเส้นสีฟ้า ไม่รีด) ค่าของอุณหภูมิที่ได้จากหัววัดจะมีการขึ้นสูงถึงประมาณ 200 องศาเซลเซียส ในครั้งแรก เวลา ที่ 100 วินาที แล้วกลับมามีความการขึ้นลง โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 160 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 140 องศาเซลเซียส ของแผ่นเตารีดในหน้าที่ที่ 4 แล้วคงที่ไปจนจบการทดลอง โดยแต่ละคาบของการ ขึ้นลงของอุณหภูมิมิมีระยะเวลาประมาณ 3 นาที ส่วนอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองในขณะที่รีดผ้า (ค่า จากกราฟในเส้นแดงรีด) อุณหภูมิจะมีการขึ้นอย่างรวดเร็วในครั้งแรกไปถึงประมาณ 160 องศา เซลเซียสแล้วมีการขึ้นลงอยู่ในช่วงประมาณอุณหภูมิสูงสุดที่ 160 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 140 องศาเซลเซียส และ ขึ้นอีกโดยที่มีคาบการขึ้นลงของอุณหภูมิประมาณ 9 รอบ รอบละประมาณ 1 นาที เมื่อนำกราฟทั้งสองเส้นที่กล่าวมาเปรียบเทียบกันพบว่า จำนวนคาบการขึ้นลงของอุณหภูมิมิมี จำนวนต่างกัน 6 รอบเนื่องจากใน ขณะรีดผ้าความร้อนของแผ่นเตารีดได้ถูกถ่ายเทไปยังผ้าที่ถูก ทดสอบทำให้เทอร์โมสตัทในเตารีดทำการจ่ายไฟเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของเตารีด ทำให้เราทราบ ว่าเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะ ใช้งานทั้งที่ มีไอลด และ ไม่มี ไอลด การมีความแตกต่างกันของจำนวนลูกขึ้นลงของอุณหภูมิโดยที่ในจากการทดลอง ในขณะที่รีด ผ้ามีจำนวนครั้งที่มากกว่า โดยที่จะมีอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง 140-160 องศาเซลเซียสเท่ากัน

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปที่ได้รับในการทดลอง การเลือกชนิดและตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า พร้อมทั้งอภิปรายผล การทดลองมาตรฐาน ความร้อนที่ได้จากป้อนปรับระดับความร้อนของเตารีดไฟฟ้า การทดลองชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า ทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงแบบเรียลไทม์และ การทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลด ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษานี้กำหนดชนิดของหัววัดอุณหภูมิที่นำมาทดลอง รวม 3 ชนิด คือ DS18B20 LM35 และเทอร์มิสเตอร์พบว่า เมื่อปรับระดับความร้อนทั้ง 3 ระดับ หัววัดอุณหภูมิ DS18B20 จะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิได้ไม่เกิน 127.98 องศาเซลเซียส และช่วงของการปรับสูงสุด-ต่ำสุด ของอุณหภูมิไม่ล้นหรือเกิน (Over-range) ส่วนหัววัดอุณหภูมิ LM35 เมื่อปรับระดับความร้อนทั้ง 3 ระดับ สามารถแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดได้สูงขึ้น ตามระดับความร้อนที่ปรับขึ้นจากระดับหนึ่งไปที่ระดับสองและระดับสามแต่ค่าอุณหภูมิสูงสุดดังกล่าวก็ยังต่ำกว่าค่าที่ป้อนปรับระดับความร้อนตั้งไว้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด มีความสม่ำเสมอ สำหรับหัววัดอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์เมื่อปรับระดับความร้อนทั้ง 3 ระดับ สามารถแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดได้สูงขึ้น ตามระดับความร้อนที่ปรับขึ้นจากระดับหนึ่งไปที่ระดับสองและระดับสาม และค่าอุณหภูมิสูงสุดดังกล่าวก็ใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้รวมทั้งช่วงของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ของอุณหภูมิมีความสม่ำเสมอ

สำหรับทดลองความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากหัววัดกับเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงแบบเรียลไทม์ที่ติดตั้งด้วยหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ตำแหน่งที่ 2 พบว่า ซึ่งตรงกับกึ่งกลางตามแนวกึ่งกลางของเตารีด แสดงค่าระดับของอุณหภูมิสูงสุดและใกล้เคียงกับค่าระดับของอุณหภูมิอ้างอิง (reff)

การทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีโหลด (รีดผ้า) และไม่มีโหลด (ไม่รีดผ้า) โดยใช้หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ระดับอุณหภูมิตนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ของทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลด ปรับสูงขึ้นและและปรับลดลง สลับเป็นช่วง โดยระดับอุณหภูมิต่ำสุดของทั้งที่โหลดและไม่มีโหลด มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับ ระดับ

อุณหภูมิสูงสุดของทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลด มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน แต่จำนวนช่วงของการปรับอุณหภูมิ ของการมีโหลดมีความถี่สูงกว่าการไม่มีโหลด เมื่อเทียบกับคาบเวลาที่เท่ากัน

## 5.2 อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า เพราะสามารถตรวจจับอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้า ได้ทุกระดับตามการปรับ ของปุ่มปรับอุณหภูมิของเตารีดไฟฟ้าและมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจึงจำกัดอยู่ในช่วงแคบๆ และเป็นช่วงๆ โดยในโครงการงานนี้ ได้เลือกเทอร์มิสเตอร์ที่มี ช่วงอุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส มาใช้ทดลอง สำหรับหัววัดอุณหภูมิ DS1820 จะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิได้ไม่เกิน 127.98 องศาเซลเซียสนั้น ทำให้เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทดลองมีค่าสูงกว่า จึงหยุดการทำงานชั่วคราว เมื่อเทอร์โมสตัท ตัดการทำงาน แล้วเริ่มทำงานใหม่ หัววัดอุณหภูมิ DS1820 จึงสามารถกลับมาวัดค่าอุณหภูมิได้อีก จึงแสดงช่วงของการปรับสูงสุด-ต่ำสุด ของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ ส่วนหัววัดอุณหภูมิ LM35 นั้น แม้สามารถตรวจจับอุณหภูมิ ได้ทุกระดับความร้อนที่ตั้งค่าด้วยปุ่มปรับความร้อน แต่ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าระดับความร้อนที่ตั้งประมาณ 20 องศาเซลเซียส

จากการทดลองยังพบว่า การกระจายความร้อนบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของเตารีดมีระดับความร้อนสูงสุด ซึ่งผลการทดลองดังกล่าว น่าจะเกิดจาก ขดลวดนิโครมที่ถูกออกแบบให้ลักษณะ โค้งคล้ายเกือกม้า นำความร้อนจากทุกส่วนของด้านในเกือกม้าไปยัง ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของเตารีด ทำให้ตำแหน่งนี้ได้รับความร้อนสะสมมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ โดยแสดงค่าระดับของอุณหภูมิสูง ดังนั้นตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานในเตารีดคือตำแหน่งที่ 5 และ 6 ซึ่งอยู่ท้ายเตารีด

ส่วนการทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ขณะใช้งานทั้งที่มีโหลด (รีดผ้า) และไม่มีโหลด (ไม่รีดผ้า) ซึ่งพบว่า ระดับอุณหภูมิบนแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้า ของทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลด ปรับสูงขึ้นและและปรับลดลง สลับเป็นช่วง โดย ระดับอุณหภูมิต่ำสุดของทั้งที่โหลดและไม่มีโหลด มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับ ระดับอุณหภูมิสูงสุดของทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลด มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน ผลการทดลองดังกล่าว น่าจะเกิดจาก การทำงานของเทอร์โมสตัท ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการตัดหรือต่อวงจร ไฟฟ้า ตามระดับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ส่วนจำนวนช่วงของการปรับอุณหภูมิ ของการมีโหลดมีความถี่สูงกว่าการไม่มีโหลด เมื่อเทียบกับคาบเวลาที่เท่ากัน น่าจะเกิดจากสูญเสียความร้อนของแผ่นความร้อนของเตารีดไฟฟ้าไปสู่ โหลดเร็วกว่าการไม่มีโหลด ทำให้ ความถี่ของการทำงานของเทอร์โมสตัทสูงตามไปด้วยจึงแสดงผลให้ รูปแผนภูมิความร้อนของการมีโหลดมีความถี่สูงกว่าการไม่มีโหลด

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ควรติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อยืดอายุการใช้งานของหัววัดอุณหภูมิที่มีทนความร้อน ได้ต่ำ
2. ในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจริงของตำแหน่งกวดเตารีดเทียบกับตำแหน่งติดตั้งเพื่อความถูกต้องและแม่นยำ ควรทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วเฉลี่ยค่าของอุณหภูมิของทั้งสองตำแหน่ง เพื่อลดความผิดพลาดในการบันทึกอุณหภูมิ



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328P สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2557  
จาก <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>
- [2] ภาษาซี (C Programming Language) สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2557  
จาก <http://61.7.241.229/CProgrammingV2.pdf>
- [3] การใช้งานหัววัดอุณหภูมิ LM35 สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2557  
จาก <http://playground.arduino.cc/Main/LM35>
- [4] การใช้งานหัววัดอุณหภูมิDS1820 สืบค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2557  
จาก <http://playground.arduino.cc/Learning/OneWire>
- [5] การใช้งานหัววัดอุณหภูมิThermistor สืบค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2557  
จาก <http://playground.arduino.cc/ComponentLib/Thermistor2>
- [6] การใช้งานโปรแกรมPLX-DAQ สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2557  
จาก <http://www.parallax.com/downloads/plx-daq>
- [7] การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์  
เฉลี่ย สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2557  
จาก [http://errorsofmeasurement.blogspot.com/2013\\_11\\_01\\_archive.html](http://errorsofmeasurement.blogspot.com/2013_11_01_archive.html)
- [8] การติดตั้งโปรแกรม Arduino สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2557  
จาก <http://arduino.cc/en/main/software>



## โค้ดคำสั่งในการแสดงอุณหภูมิ LM35

```
int tempPinther1=0;
int tempPinther2=1;
int tempPinther3=2;
int tempPinther4=3;
int tempPinther5=4;
int tempPinther6=5;
```

---

```
int x = 0;
```

```
int row = 0;
```

```
float temperature1;
```

```
float temperature2;
```

```
float temperature3;
```

```
float temperature4;
```

```
float temperature5;
```

```
float temperature6;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Serial.println("CLEARDATA");
```

```
    Serial.println("LABEL,time,sec,t1,t2,t3,t4,t5,t6");
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
    temperature1= (LMTEMP(analogRead(tempPinther1)));
```

```
    temperature2= (LMTEMP(analogRead(tempPinther2)));
```

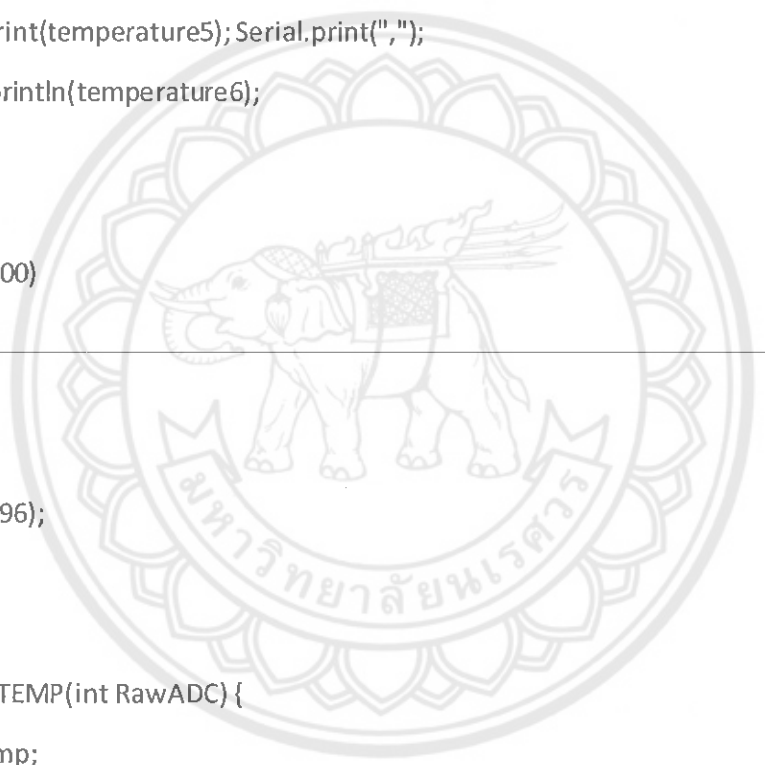
```
    temperature3= (LMTEMP(analogRead(tempPinther3)));
```

```
temperature4= (LMTEMP(analogRead(tempPinther4)));
temperature5= (LMTEMP(analogRead(tempPinther5)));
temperature6= (LMTEMP(analogRead(tempPinther6)));

Serial.print("DATA,TIME,");Serial.print(x);Serial.print(",");
Serial.print(temperature1);Serial.print(",");
Serial.print(temperature2);Serial.print(",");
Serial.print(temperature3);Serial.print(",");

Serial.print(temperature4);Serial.print(",");
Serial.print(temperature5);Serial.print(",");
Serial.println(temperature6);
row++;
x++;
if (x>1200)
{
  x=0;
}
delay(996);
}

float LMTEMP(int RawADC) {
float Temp;
Temp = ( 5.0 * RawADC * 100.0) / 1024.0;
return Temp;
}
```





## โค้ดคำสั่งในการแสดงอุณหภูมิ DS1820

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>

#define ONE_WIRE_BUS 10

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
int x = 0;
int row = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,time,sec,t1,t2,t3,t4,t5,t6");
  sensors.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();

  Serial.print("DATA,TIME,"); Serial.print(x); Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(1)); Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(2)); Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(3)); Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(4)); Serial.print(",");
  Serial.println(sensors.getTempCByIndex(5));
```

```
row++;  
x++;  
if(x>1200)  
{  
    x=0;  
}  
  
}
```

---



## โค้ดคำสั่งในการแสดงอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์

```
int tempPinther1=0;
int tempPinther2=1;
int tempPinther3=2;
int tempPinther4=3;
int tempPinther5=4;
int tempPinther6=5;
```

---

```
int x = 0;
int row = 0;
```

```
float temperature1;
float temperature2;
float temperature3;
float temperature4;
float temperature5;
float temperature6;
```

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("CLEARDATA");
    Serial.println("LABEL,time,sec,t1,t2,t3,t4,t5,t6");
}

void loop()
```

```
{
temperature1= (LMTEMP(analogRead(tempPinther1)));
temperature2= (LMTEMP(analogRead(tempPinther2)));
temperature3= (LMTEMP(analogRead(tempPinther3)));
temperature4= (LMTEMP(analogRead(tempPinther4)));
temperature5= (LMTEMP(analogRead(tempPinther5)));
temperature6= (LMTEMP(analogRead(tempPinther6)));

Serial.print("DATA,TIME,");Serial.print(x);Serial.print(",");
Serial.print(temperature1);Serial.print(",");
Serial.print(temperature2);Serial.print(",");
Serial.print(temperature3);Serial.print(",");
Serial.print(temperature4);Serial.print(",");
Serial.print(temperature5);Serial.print(",");
Serial.println(temperature6);

row++;
x++;
if (x>1200)
{
x=0;
}
delay(996);

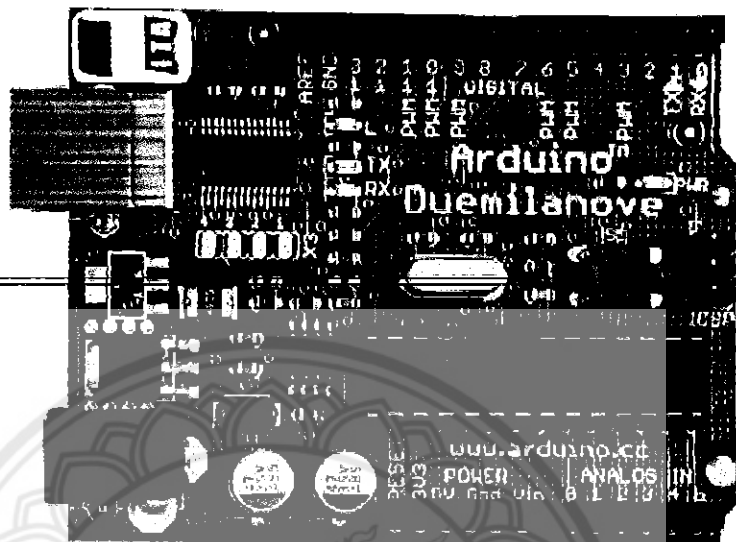
}

float LMTEMP(int RawADC) {
float Temp;
Temp = ( 5.0 * RawADC * 100.0) / 1024.0;
return Temp;
}
```





# Arduino Duemilanove



## Product Overview

The Arduino Duemilanove ("2009") is a microcontroller board based on the ATmega328. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

"Duemilanove" means 2009 in Italian and is named after the year of its release. The Duemilanove is the latest in a series of USB Arduino boards; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino  
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies  
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



*radiospares* **RADIONICS**





# Technical Specification

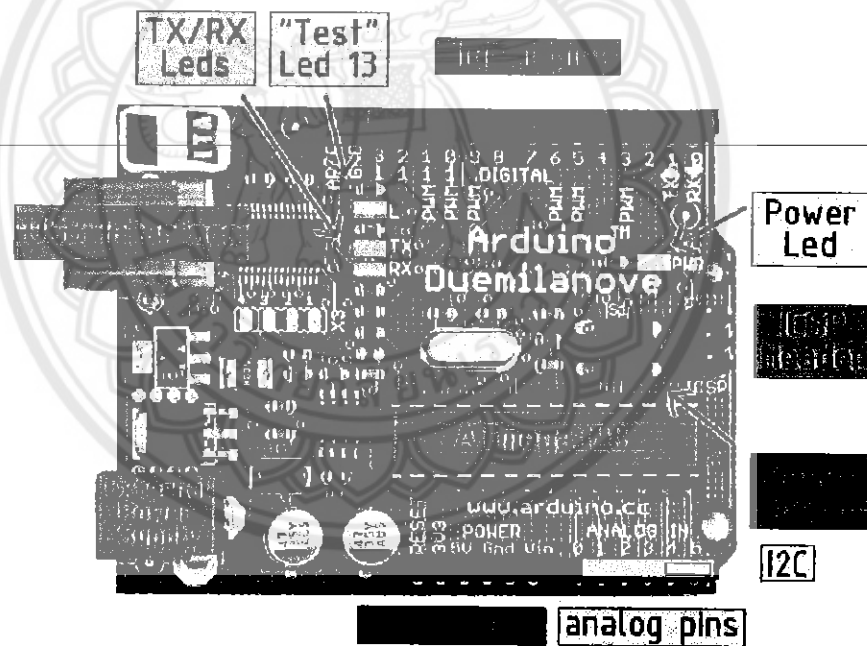
# A<sub>8</sub>

EAGLE files: [arduino-duemilanove-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-duemilanove-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



**radiospares RADIONICS**



## Power

The Arduino Duemilanove can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board FTDI chip. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Duemilanove can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the FTDI USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



*radiospares*

**RADIONICS**





The Duemilanove has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the `Wire` library.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

## Communication

The Arduino Duemilanove has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provide UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An FTDI FT232RL on the board channels this serial communication over USB and the FTDI drivers (included with the Arduino software) provide a virtual com port to software on the computer. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the FTDI chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A `SoftwareSerial` library allows for serial communication on any of the Duemilanove's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a `Wire` library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Duemilanove can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Duemilanove w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Duemilanove comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares

RADIONICS





## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in  $^{\circ}$  Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^{\circ}$  C at room temperature and  $\pm 3/4^{\circ}$  C over a full  $-55$  to  $+150^{\circ}$  C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60  $\mu$ A from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^{\circ}$  C in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}$  C temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^{\circ}$  to  $+110^{\circ}$  C range ( $-10^{\circ}$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

### Features

- Calibrated directly in  $^{\circ}$  Celsius (Centigrade)
- Linear  $+ 10.0$  mV/ $^{\circ}$  C scale factor
- $0.5^{\circ}$  C accuracy guaranteeable (at  $+25^{\circ}$  C)
- Rated for full  $-55$  to  $+150^{\circ}$  C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60  $\mu$ A current drain
- Low self-heating,  $0.08^{\circ}$  C in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^{\circ}$  C typical
- Low impedance output,  $0.1 \Omega$  for 1 mA load

### Typical Applications

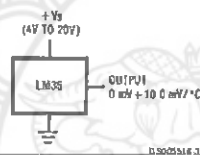
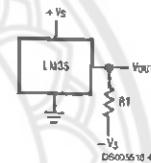


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^{\circ}$  C to  $+150^{\circ}$  C)



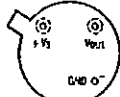
Choose  $R_1 = -V_S/50 \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500$  mV at  $+150^{\circ}$  C  
 $= +250$  mV at  $+25^{\circ}$  C  
 $= -550$  mV at  $-55^{\circ}$  C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35

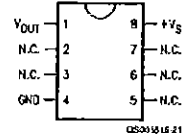
**Connection Diagrams**

**TO-46  
Metal Can Package\***



\*Case is connected to negative pin (GND)  
**Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH**  
 See NS Package Number H03H

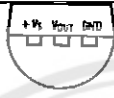
**SO-8  
Small Outline Molded Package**



N.C. = No Connection

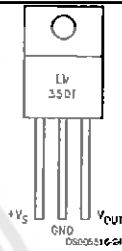
**Top View  
 Order Number LM35DM  
 See NS Package Number M08A**

**TO-92  
Plastic Package**



**Order Number LM35CZ,  
 LM35CAZ or LM35DZ**  
 See NS Package Number Z03A

**TO-220  
Plastic Package\***



\*Tab is connected to the negative pin (GND).  
 Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

**Order Number LM35DT  
 See NS Package Number TA03F**

LM35

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 10)		TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.			
Supply Voltage	+35V to -0.2V	SO Package (Note 12)	
Output Voltage	+6V to -1.0V	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Output Current	10 mA	Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temp.:		ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
TO-46 Package,	-60°C to +180°C	Specified Operating Temperature Range: T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub>	
TO-92 Package,	-60°C to +150°C	LM35, LM35A	-55°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C	LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C	LM35D	0°C to +100°C
Lead Temp.:			
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C		

**Electrical Characteristics**  
(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5	±1.0	°C
	T <sub>A</sub> =-10°C	±0.3			±0.3			°C
	T <sub>A</sub> =T <sub>MAX</sub>	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T <sub>A</sub> =T <sub>MIN</sub>	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) 0 ≤ I <sub>L</sub> ≤ 1 mA	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V ≤ V <sub>S</sub> ≤ 30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V <sub>S</sub> =+5V, +25°C	56	67		56	67		µA
	V <sub>S</sub> =+5V	105		131	91		114	µA
	V <sub>S</sub> =+30V, +25°C	56.2	68		56.2	68		µA
	V <sub>S</sub> =+30V	105.5		133	91.5		116	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V ≤ V <sub>S</sub> ≤ 30V, +25°C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V ≤ V <sub>S</sub> ≤ 30V	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, I <sub>L</sub> =0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T <sub>J</sub> =T <sub>MAX</sub> for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

LM35

Electrical Characteristics (Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$		$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.8$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.8$		$+10.0$		$+9.8$	mV/ $^\circ\text{C}$
<b>(Average Slope)</b>			<b><math>+10.2</math></b>				<b><math>+10.2</math></b>	
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5V$	105		158	91		138	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V$	105.5		161	91.5		141	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		3.0	0.5		3.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_{J,S} \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_{J,S} \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_{J,S} \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5V$  and  $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$  in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{MAX}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is  $400^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient, and  $24^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  (times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ )).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

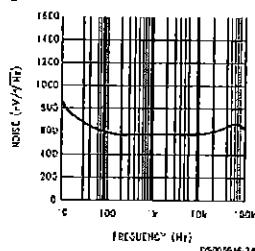
Note 11: Human body model,  $100 \text{ pF}$  discharged through a  $1.5 \text{ k}\Omega$  resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

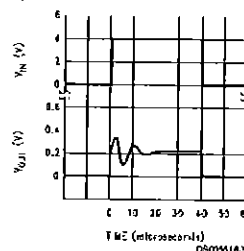
LM35

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance,  $\theta_{JA}$ )

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92*, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	28°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Smeared oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinitely heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

\*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

\*\*TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. lead or similar.

### Typical Applications



FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

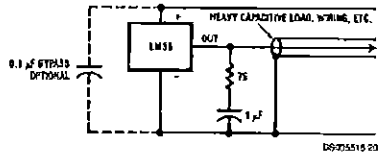


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

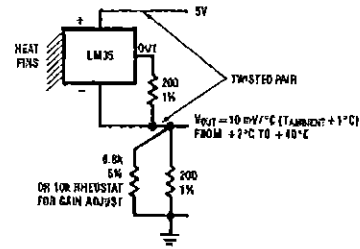


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

### CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from  $V_{IN}$  to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.

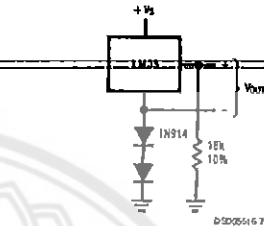


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55°C to +150°C

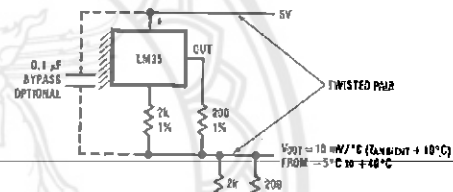


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

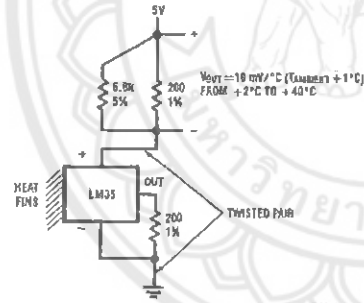


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

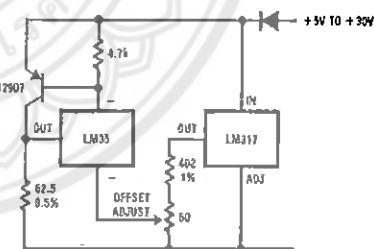
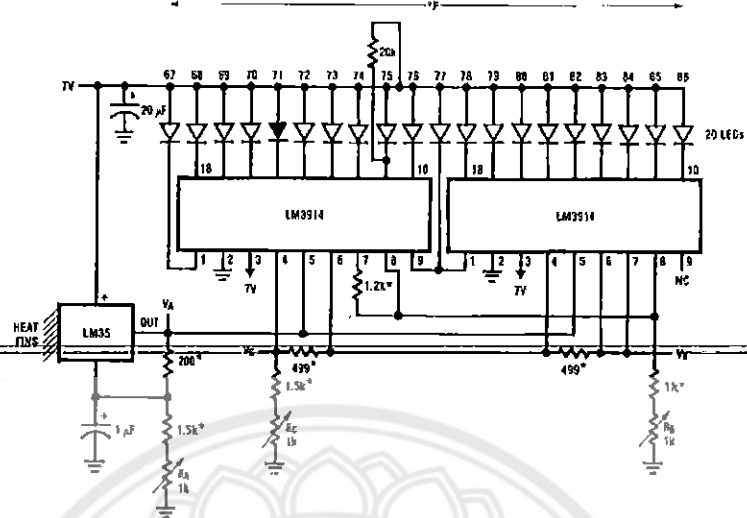


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)





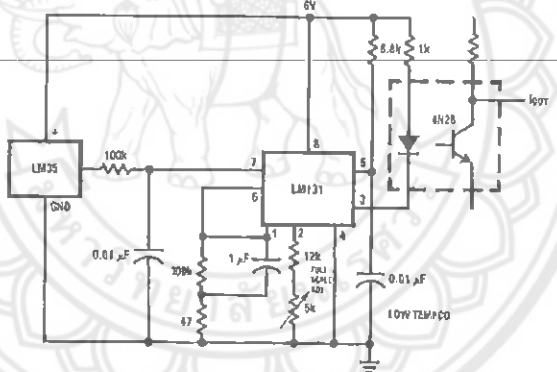
Typical Applications (Continued)



<sup>1</sup> = 1% or 2% film resistor  
 Trim R<sub>G</sub> for V<sub>D</sub> = 3.075V  
 Trim R<sub>C</sub> for V<sub>C</sub> = 1.955V  
 Trim R<sub>A</sub> for V<sub>A</sub> = 0.075V + 100mV/°C × T<sub>ambient</sub>  
 Example, V<sub>A</sub> = 2.275V at 22°C

06020516-16

FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)

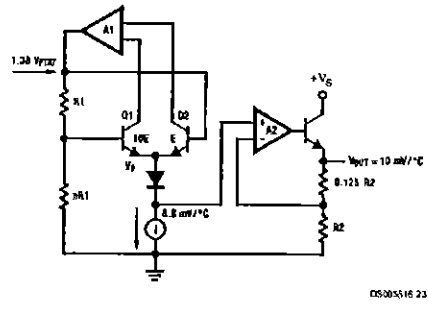


05020516-15

FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output (2°C to +150°C; 20 Hz to 1500 Hz)

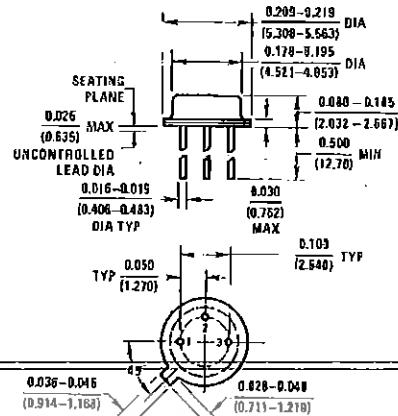
LM35

Block Diagram

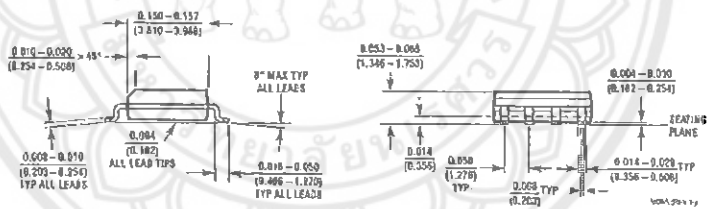
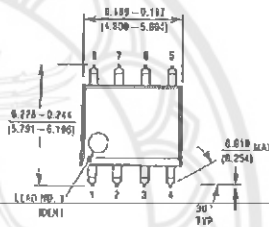


LM35

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



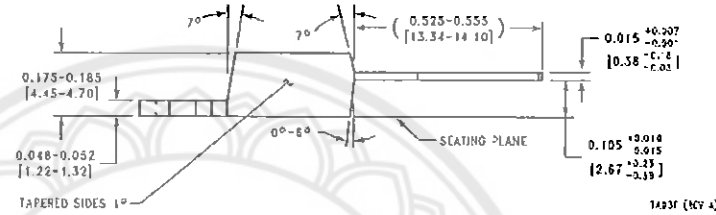
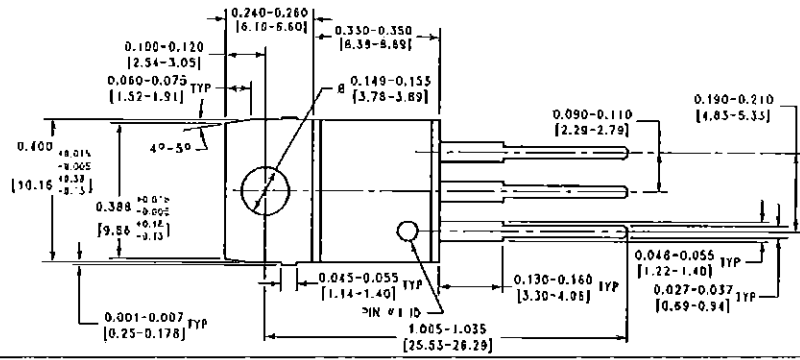
TO-46 Metal Can Package (H)  
 Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,  
 LM35CAH, or LM35DH  
 NS Package Number H03H



SO-8 Molded Small Outline Package (M)  
 Order Number LM35DM  
 NS Package Number M08A

LM35

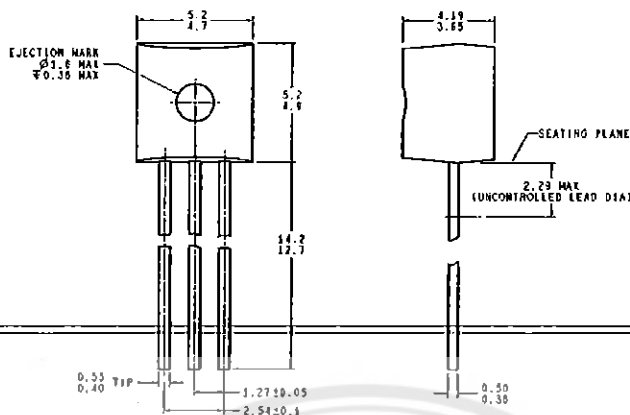
**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Power Package TO-220 (T)  
Order Number LM35DT  
NS Package Number TA03F

TA03F (REV 4)

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



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

FIG. 40A (2)

TO-92 Plastic Package (Z)  
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ  
NS Package Number 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.

 National Semiconductor Corporation  
Americas  
Tel: 1-800-272-9959  
Fax: 1-800-737-7018  
Email: support@nsc.com  
www.national.com

National Semiconductor  
Europe  
Fax: +49 (0) 180-530 85 88  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 89 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor  
Asia Pacific Customer Response Group  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor  
Japan Ltd.  
Tel: 81-3-5639-7580  
Fax: 81-3-5639-7507

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



## DS18S20

## High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

## General Description

The DS18S20 digital thermometer provides 9-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

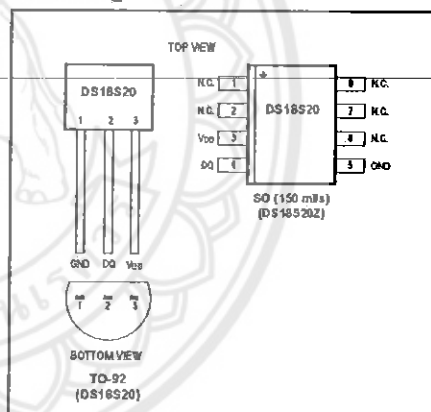
## Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

## Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Maximize System Accuracy In Broad Range of Thermal Management Applications
  - Measures Temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
  - $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
  - 9-Bit Resolution
- No External Components Required
- Parasite Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored In On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils) and 3-Pin TO-92 Packages

## Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.



## DS18S20

## High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground ..... -0.5V to +6.0V  
 Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70^\circ\text{C}$ )  
   8-Pin SO (derate 5.0mW/°C above +70°C) ..... 470.6mW  
   3-Pin TO-92 (derate 8.3mW/°C above +70°C) ..... 500mW  
 Operating Temperature Range ..... -55°C to +125°C

Storage Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +260°C  
 Soldering Temperature (reflow)  
   Lead(Pb)-free ..... +260°C  
   Containing lead(Pb) ..... +240°C

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

## DC Electrical Characteristics

( $V_{DD} = 3.0\text{V to } 5.5\text{V}$ ,  $T_A = -55^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{DD}$	Local Power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	$V_{PU}$	Parasite Power	+3.0		+5.5	V
		Local Power (Note 1, 2)	+3.0		$V_{DD}$	
Thermometer Error	$t_{ERR}$	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	$V_{IL}$	(Note 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	$V_{IH}$	Local Power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD}$ + 0.3	V
		Parasite Power (Note 1, 6)	+3.0			
Sink Current	$I_L$	$V_{DD} = 0.4\text{V}$ (Note 1)	4.0			mA
Standby Current	$I_{DDS}$	(Note 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	$I_{DD}$	$V_{DD} = 5\text{V}$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	$I_{DQ}$	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to  $V_{PU}$ . In order to meet the  $V_{IH}$  spec of the DS18S20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus:  $V_{PU\_ACTUAL} = V_{PU\_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$ .

Note 3: See typical performance curve in Figure 1.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions,  $V_{ILMAX}$  may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize  $I_{DDS}$ , DQ should be within the following ranges:  $GND \leq DQ \leq GND + 0.3\text{V}$  or  $V_{DD} - 0.3\text{V} \leq DQ \leq V_{DD}$ .

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with  $V_{DD} = 5.5\text{V}$ .

DS18S20

High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

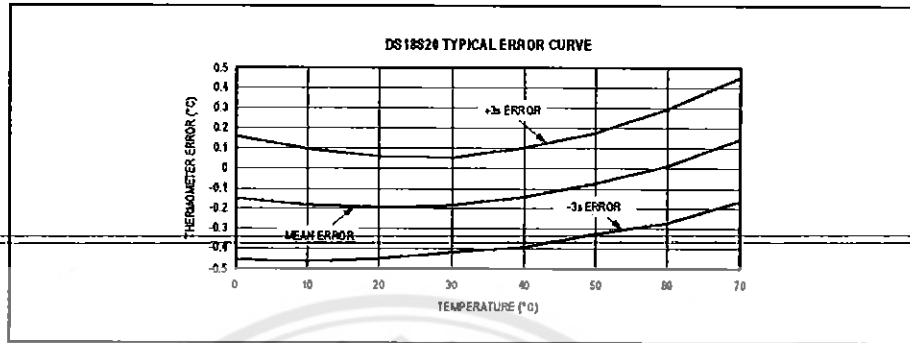


Figure 1. Typical Performance Curve

AC Electrical Characteristics—NV Memory

(V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V; T<sub>A</sub> = -55°C to +100°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t <sub>WR</sub>			2	10	ms
EEPROM Writes	N <sub>EEWR</sub>	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t <sub>EEDR</sub>	-55°C to +55°C	10			years

AC Electrical Characteristics

(V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V; T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	(Note 12)			750	ms
Time to Strong Pullup On	t <sub>SPON</sub>	Start Convert T Command Issued			10	μs
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>	(Note 12)	60		120	μs
Recovery Time	t <sub>REC</sub>	(Note 12)	1			μs
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>	(Note 12)	60		120	μs
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>	(Note 12)	1		15	μs
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>	(Note 12)			15	μs
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>	(Note 12)	480			μs
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>	(Note 12, 13)	480			μs
Presence-Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>	(Note 12)	15		60	μs
Presence-Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>	(Note 12)	60		240	μs
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF

Note 12: See the timing diagrams in Figure 2.

Note 13: Under parasite power, if t<sub>RSTL</sub> > 960μs, a power-on reset may occur.

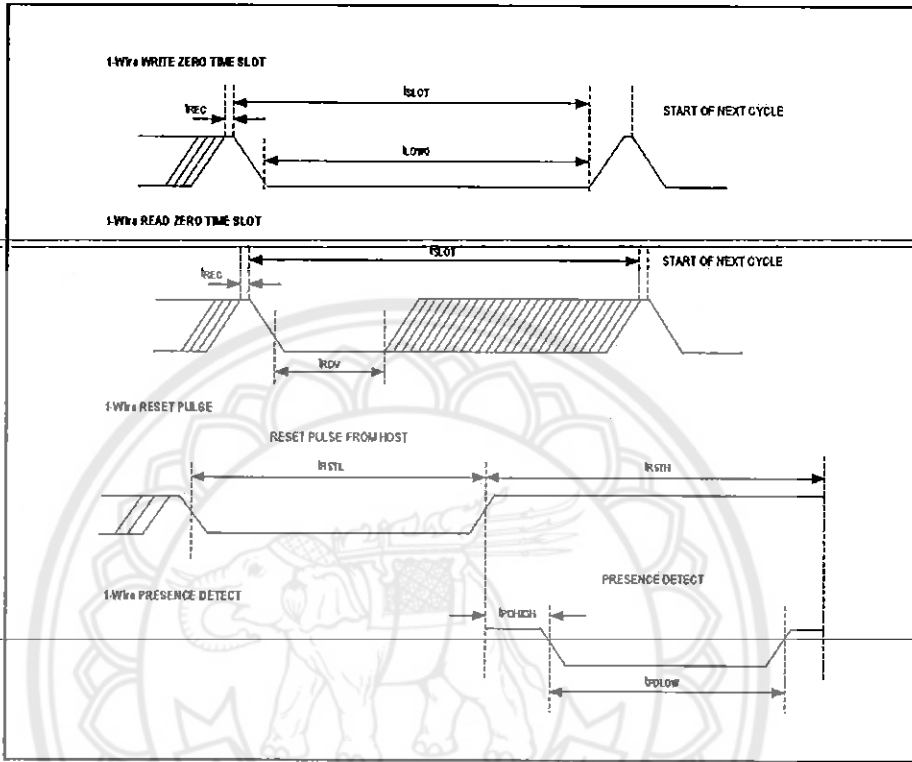


Figure 2. Timing Diagrams

Pin Description

PIN		NAME	FUNCTION
TO-92	SO		
1	5	GND	Ground
2	4	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18S20</i> section.)
3	3	V <sub>DD</sub>	Optional V <sub>DD</sub> . V <sub>DD</sub> must be grounded for operation in parasite power mode.
—	1, 2, 6, 7, 8	N.C.	No Connection

### Overview

Figure 3 shows a block diagram of the DS18S20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers ( $T_H$  and  $T_L$ ). The  $T_H$  and  $T_L$  registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18S20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18S20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the *1-Wire Bus System* section.

Another feature of the DS18S20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an

internal capacitor ( $C_{PP}$ ), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18S20 may also be powered by an external supply on  $V_{DD}$ .

### Operation—Measuring Temperature

The core functionality of the DS18S20 is its direct-to-digital temperature sensor. The temperature sensor output has 9-bit resolution, which corresponds to 0.5°C steps. The DS18S20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T (44h) command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its idle state. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue "read-time slots" (see the *1-Wire Bus System* section) after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18S20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *Powering The DS18S20* section.

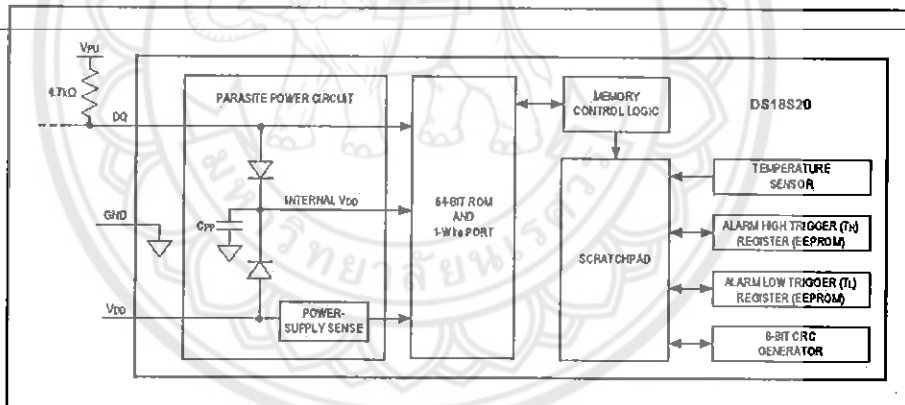


Figure 3. DS18S20 Block Diagram

The DS18S20 output data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 4). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. Table 1 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading.

Resolutions greater than 9 bits can be calculated using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers in the scratchpad. Note that the COUNT PER °C register is hard-wired to 16 (10h). After reading the scratchpad, the TEMP\_READ value is obtained by truncating the 0.5°C bit (bit 0) from the temperature data (see Figure 4). The extended resolution temperature can then be calculated using the following equation:

$$\text{TEMPERATURE} = \text{TEMP\_READ} - 0.25 + \frac{\text{COUNT\_PER\_C} - \text{COUNT\_REMAIN}}{\text{COUNT\_PER\_C}}$$

**Operation—Alarm Signaling**

After the DS18S20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers (see Figure 5). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the Memory section.

Only bits 8 through 1 of the temperature register are used in the T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> comparison since T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T<sub>L</sub> or higher than T<sub>H</sub>, an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18S20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	S	S	S

S = SIGN

Figure 4. Temperature Register Format

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>

Figure 5. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> Register Format

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+85.0*	0000 0000 1010 1010	00AAh
+25.0	0000 0000 0011 0010	0032h
+0.5	0000 0000 0000 0001	0001h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0	1111 1111 1001 0010	FF92h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

The master device can check the alarm flag status of all DS18S20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18S20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18S20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

### Powering The DS18S20

The DS18S20 can be powered by an external supply on the  $V_{DD}$  pin, or it can operate in "parasite power" mode, which allows the DS18S20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or those with space constraints. Figure 3 shows the DS18S20's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18S20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{pp}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18S20 is used in parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and  $C_{pp}$  can provide sufficient current to the DS18S20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the *DC Electrical Characteristics* and the *AC Electrical Characteristics*). However, when the DS18S20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by  $C_{pp}$ . To assure that the DS18S20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature

conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 6. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) or data transfer ( $t_{WR} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18S20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{DD}$  pin, as shown in Figure 7. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above 100°C since the DS18S20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18S20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18S20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a "read-time slot". During the read-time slot, parasite powered DS18S20s will pull the bus low, and externally powered DS18S20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

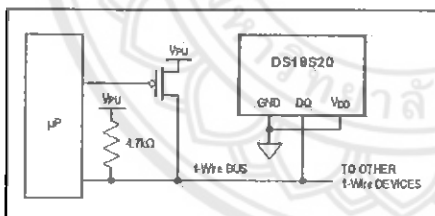


Figure 6. Supplying the Parasite-Powered DS18S20 During Temperature Conversions

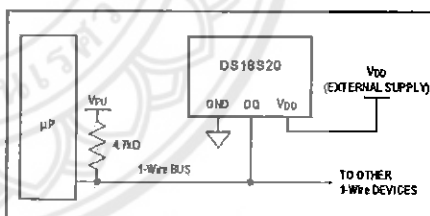


Figure 7. Powering the DS18S20 with an External Supply

**64-Bit Lasered ROM Code**

Each DS18S20 contains a unique 64-bit code (see Figure 8) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18S20's 1-Wire family code: 10h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the *CRC Generation* section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18S20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the *1-Wire Bus System* section.

Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to TH and TL registers. Bytes 4 and 5 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bytes will return all 1s when read. Bytes 6 and 7 contain the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers, which can be used to calculate extended resolution results as explained in the *Operation—Measuring Temperature* section.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the CRC code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18S20 generates this CRC using the method described in the *CRC Generation* section.

**Memory**

The DS18S20's memory is organized as shown in Figure 9. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (TH and TL). Note that if the DS18S20 alarm function is not used, the TH and TL registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the *DS18S20 Function Commands* section.

Data is written to bytes 2 and 3 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18S20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the TH and TL data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.



Figure 8. 64-Bit Lasered ROM Code

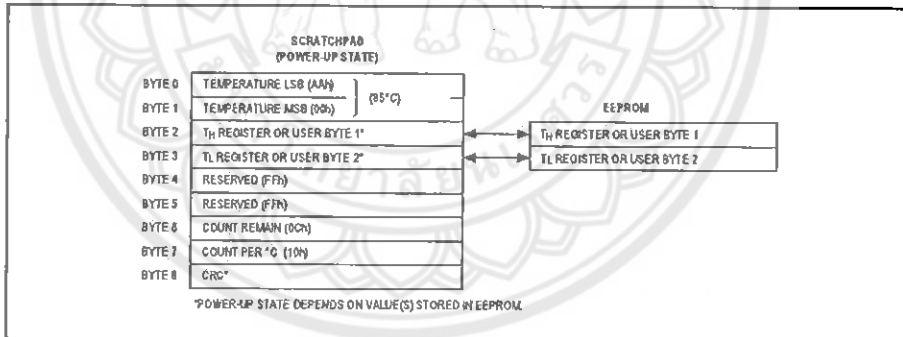


Figure 9. DS18S20 Memory Map

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E2 (B8h) command. The master can issue "read-time slots" (see the *1-Wire Bus System* section) following the Recall E2 command and the DS18S20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18S20 using the polynomial generator shown in Figure 10. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or

**CRC Generation**

CRC bytes are provided as part of the DS18S20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18S20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18S20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18S20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18S20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim Bitron Products*.

**1-Wire Bus System**

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18S20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a "single-drop" system; the system is "multidrop" if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

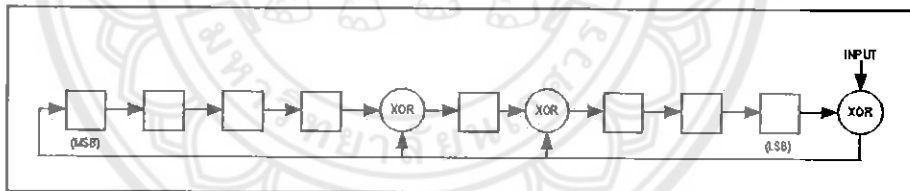


Figure 10. CRC Generator



### Hardware Configuration

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open drain or 3-state port. This allows each device to "release" the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18S20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 11.

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5k $\Omega$ ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480 $\mu$ s, all components on the bus will be reset.

### Transaction Sequence

The transaction sequence for accessing the DS18S20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18S20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18S20 is accessed, as the DS18S20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

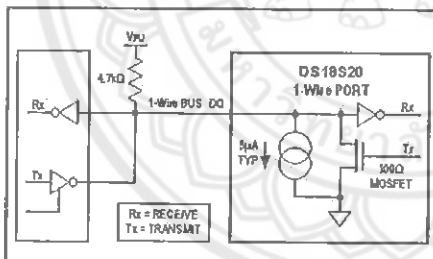


Figure 11. Hardware Configuration

Button is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

### Initialization

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18S20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the *1-Wire Signaling* section.

### ROM Commands

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18S20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in Figure 16.

### Search Rom [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices. If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM command (see below) can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to the *1-Wire Book of Standards* at [www.maximintegrated.com/buttonbook](http://www.maximintegrated.com/buttonbook). After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

### Read ROM [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

## DS18S20

## High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

**Match ROM [55h]**

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

**Skip ROM [CCh]**

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18S20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

**Alarm Search [ECh]**

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18S20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the *Operation—Alarm Signaling* section for an explanation of alarm flag operation.

**DS18S20 Function Commands**

After the bus master has used a ROM command to address the DS18S20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18S20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18S20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18S20 function commands, which are described below, are summarized in Table 2 and illustrated by the flowchart in Figure 17.

Table 2. DS18S20 Function Command Set

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITY AFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
<b>TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS</b>				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18S20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18S20s).	1
<b>MEMORY COMMANDS</b>				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18S20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2 and 3 ( $T_H$ and $T_L$ ).	4Eh	Master transmits 2 data bytes to DS18S20.	3
Copy Scratchpad	Copies $T_H$ and $T_L$ data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E <sup>2</sup>	Recalls $T_H$ and $T_L$ data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18S20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18S20 power supply mode to the master.	B4h	DS18S20 transmits supply status to master.	

Note 1: For parasite-powered DS18S20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.

Note 2: The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.

Note 3: Both bytes must be written before a reset is issued.

**Convert T [44h]**

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (t<sub>CONV</sub>) as described in the *Powering The DS18S20* section. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue read-time slots after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

**Write Scratchpad [4Eh]**

This command allows the master to write 2 bytes of data to the DS18S20's scratchpad. The first byte is written into the T<sub>H</sub> register (byte 2 of the scratchpad), and the second byte is written into the T<sub>L</sub> register (byte 3 of the scratchpad). Data must be transmitted least significant bit first. Both bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

**Read Scratchpad [BEh]**

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

**Copy Scratchpad [48h]**

This command copies the contents of the scratchpad T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers (bytes 2 and 3) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the *Powering The DS18S20* section.

**Recall E<sup>2</sup> [B8h]**

This command recalls the alarm trigger values (T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub>) from EEPROM and places the data in bytes 2 and 3, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read-time slots following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18S20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

**Read Power Supply [B4h]**

The master device issues this command followed by a read-time slot to determine if any DS18S20s on the bus are using parasite power. During the read-time slot, parasite powered DS18S20s will pull the bus low, and externally powered DS18S20s will let the bus remain high. See the *Powering The DS18S20* section for usage information for this command.

**1-Wire Signaling**

The DS18S20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. All these signals, with the exception of the presence pulse, are initiated by the bus master.

### Initialization Procedure—Reset And Presence Pulses

All communication with the DS18S20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18S20. This is illustrated in Figure 12. When the DS18S20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480 $\mu$ s. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5k $\Omega$  pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18S20 detects this rising edge, it waits 15 $\mu$ s to 60 $\mu$ s and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60 $\mu$ s to 240 $\mu$ s.

### Read/Write Time Slots

The bus master writes data to the DS18S20 during write time slots and reads data from the DS18S20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

### Write Time Slots

There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18S20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18S20. All write time slots must be a minimum of 60 $\mu$ s in duration with a minimum of a 1 $\mu$ s recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 13).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15 $\mu$ s. When the bus is released, the 5k $\Omega$  pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60 $\mu$ s). The DS18S20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15 $\mu$ s to 60 $\mu$ s after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18S20. If the bus is low, a 0 is written to the DS18S20.

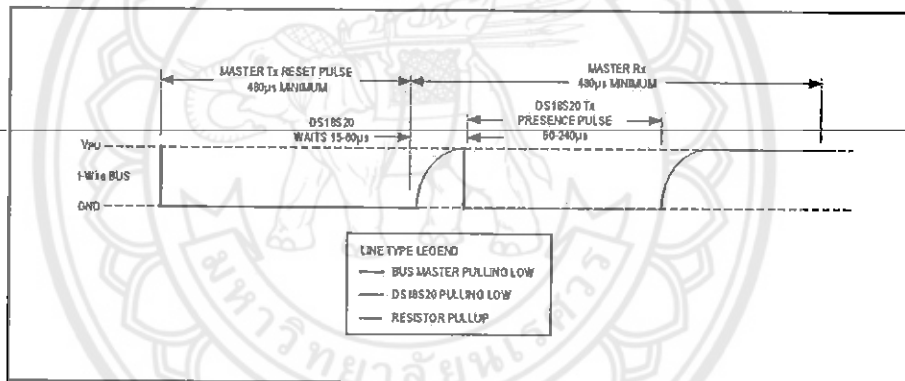


Figure 12. Initialization Timing

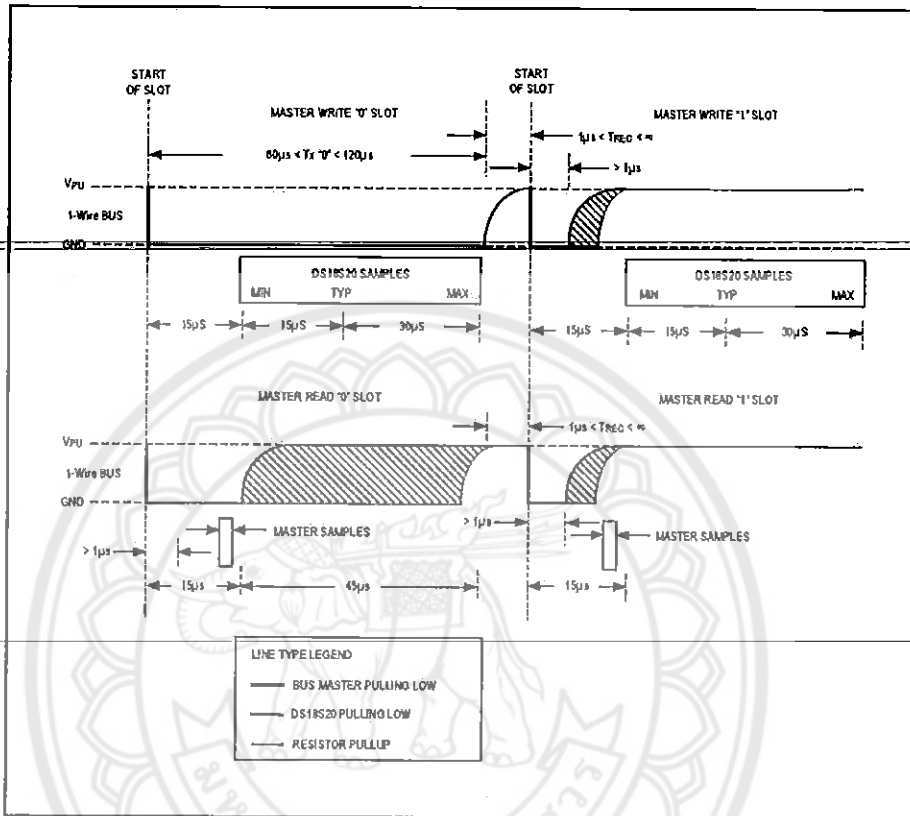


Figure 13. Read/Write Time Slot Timing Diagram

**Read-Time Slots**

The DS18S20 can only transmit data to the master when the master issues read-time slots. Therefore, the master must generate read-time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18S20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read-time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E<sup>2</sup> [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the *DS18S20 Function Commands* section.

read-time slot, the DS18S20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18S20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18S20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18S20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read-time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

**All read-time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots.** A read-time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see *Figure 13*). After the master initiates the

**Figure 14 illustrates that the sum of  $T_{INIT}$ ,  $T_{RC}$ , and  $T_{SAMPLE}$  must be less than 15µs for a read-time slot.** *Figure 15* shows that system timing margin is maximized by keeping  $T_{INIT}$  and  $T_{RC}$  as short as possible and by localizing the master sample time during read-time slots towards the end of the 15µs period.

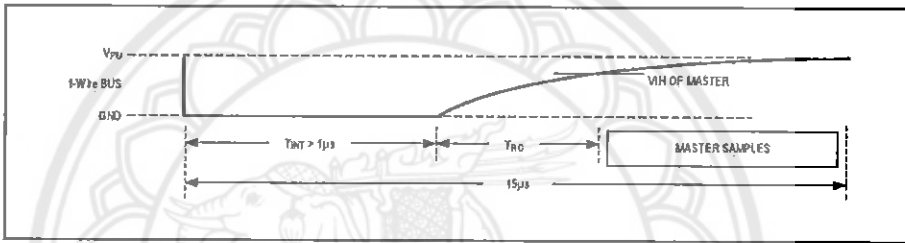


Figure 14. Detailed Master Read 1 Timing

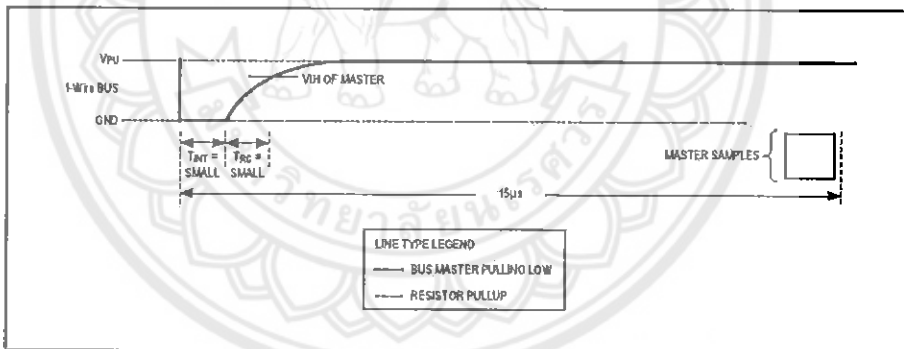


Figure 15. Recommended Master Read 1 Timing

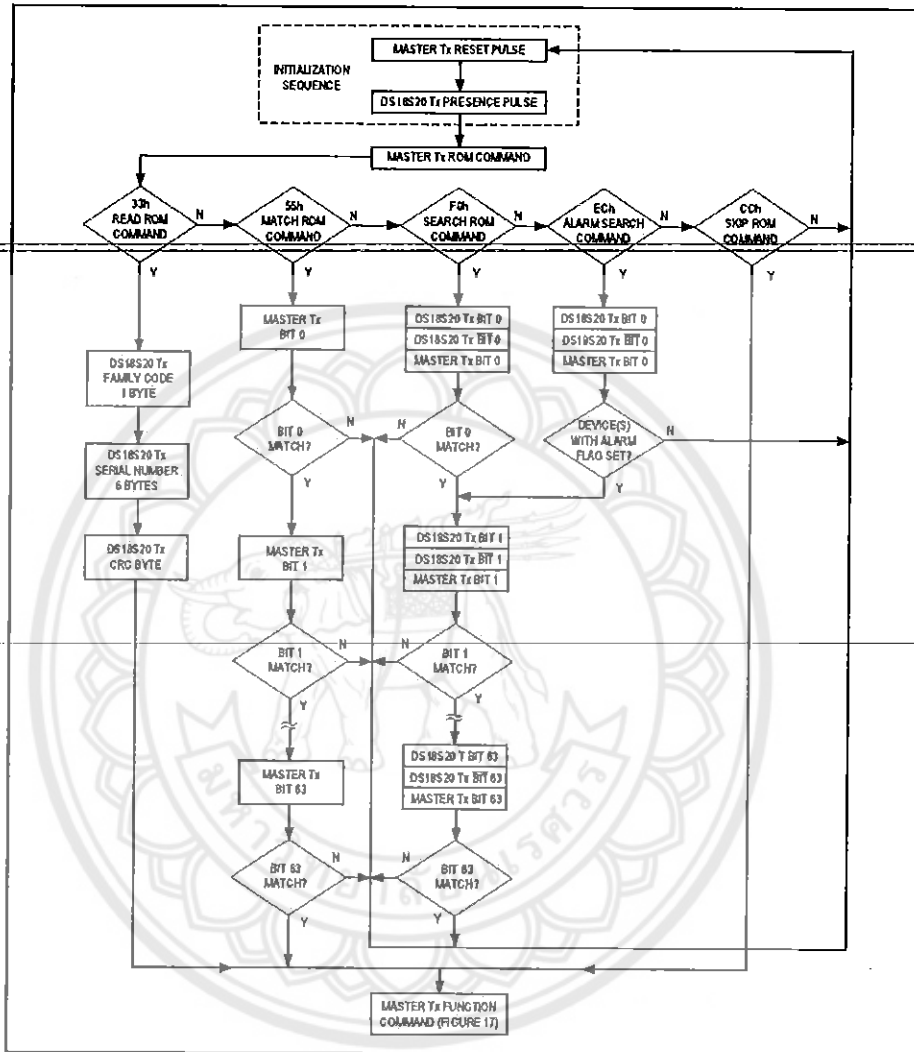


Figure 16. ROM Commands Flowchart

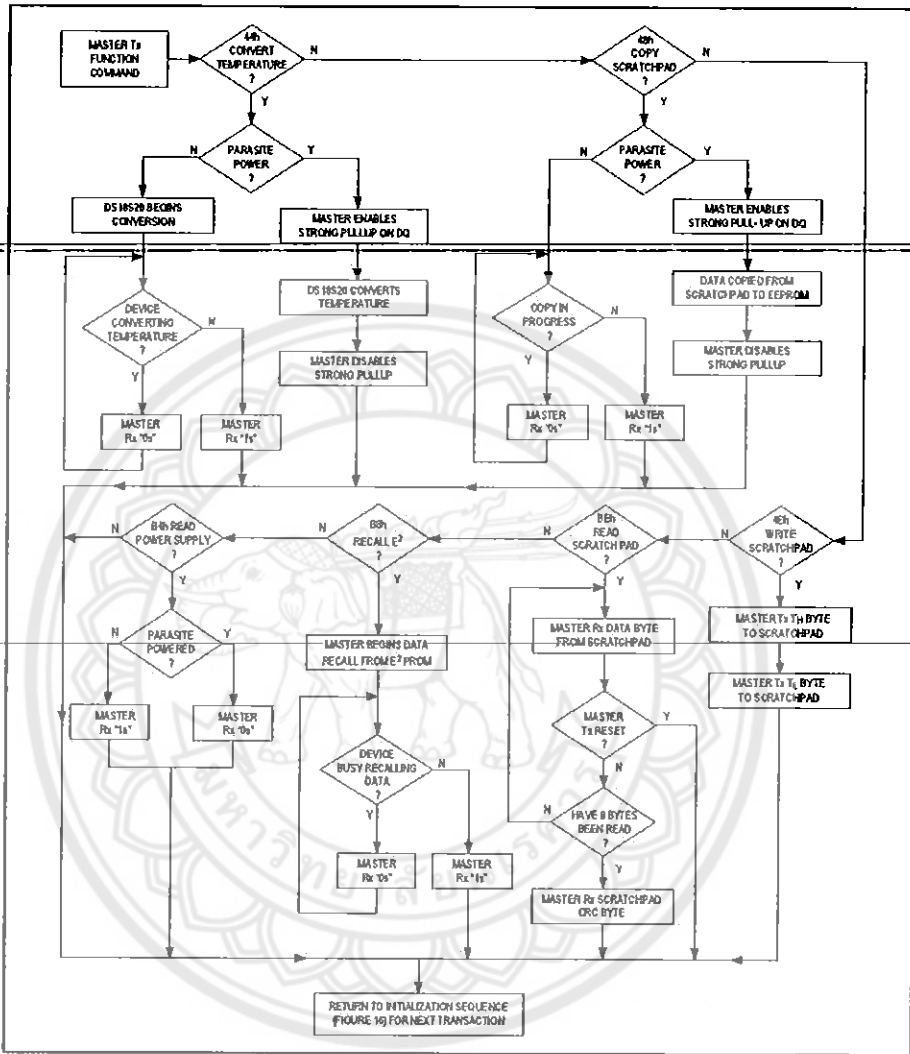


Figure 17. DS18S20 Function Commands Flowchart



## DS18S20

## High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

## Ds18S20 Operation Example 1

In this example there are multiple DS18S20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18S20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

## DS18S20 Operation Example 2

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the  $T_H$  and  $T_L$  registers in the DS18S20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	2 data bytes	Master sends two data bytes to scratchpad ( $T_H$ and $T_L$ ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

## DS18S20

## High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

## DS18S20 Operation Example 3

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion then reads the DS18S20 scratchpad and calculates a higher resolution result using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Tx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t <sub>CONV</sub> ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated. The master also calculates the TEMP_READ value and stores the contents of the COUNT REMAIN and Count Per °C registers.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
—	—	CPU calculates extended resolution temperature using the equation in the Operation—Measuring Temperature section.

DS18S20

High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS18S20+	-55°C to +125°C	3 TO-92
DS18S20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)
DS18S20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*
DS18S20Z	-55°C to +125°C	8 SO
DS18S20Z+	-55°C to +125°C	8 SO
DS18S20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)
DS18S20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)

Package Information

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to [www.maximintegrated.com/packages](http://www.maximintegrated.com/packages). Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
8 SO	S8-2	21-0041	90-0096
3 TO-92 (straight leads)	Q3-1	21-0248	—
3 TO-92 (formed leads)	Q3-4	21-0250	—

\*Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package. A "+" appears on the top mark of lead(Pb)-free packages.

T&R = Tape and reel.

\*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.



DS18S20

High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

## Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	4/08	In the <i>Ordering Information</i> table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads	2
1	8/10	Removed the Top Mark column from the <i>Ordering Information</i> table; added the continuous power dissipation and lead and soldering temperatures to the <i>Absolute Maximum Ratings</i> section	2, 20
2	1/15	Updated <i>General Description and Benefits and Features</i> section and added <i>Applications</i> section	1
3	4/15	Revised <i>Pin Configuration and Ordering Information</i>	1, 20

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-620-4642, or visit Maxim Integrated's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.

Maxim Integrated and the Maxim Integrated logo are trademarks of Maxim Integrated Products, Inc. © 2015 Maxim Integrated Products, Inc. | 21



รายละเอียดเทอร์มิสเตอร์(Thermistor)

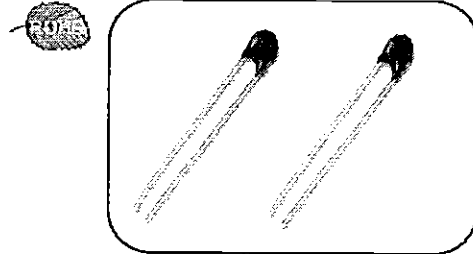
# NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation



■ Features

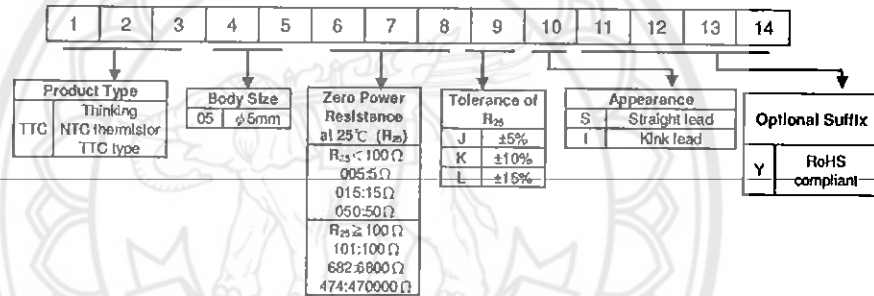
1. RoHS compliant
2. Body size Φ5mm
3. Radial lead resin coated
4. -30 ~ +125°C operating temperature range
5. Wide resistance range
6. Cost effective
7. Agency recognition :UL /CSA/TUV/CQC



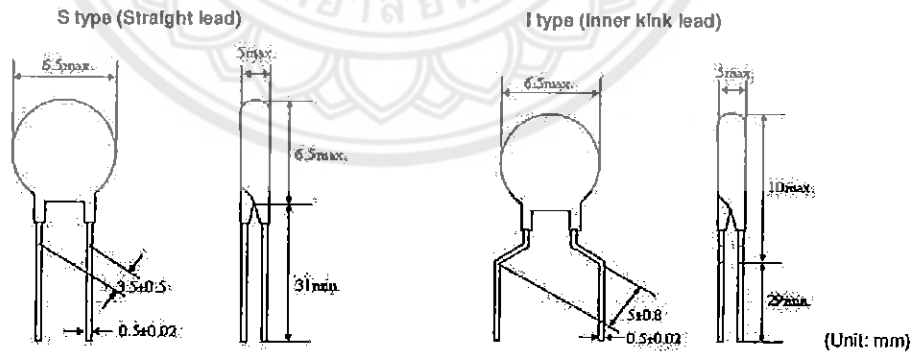
■ Recommended Applications

1. Home appliances (air conditioner, refrigerator, electric fan, electric cooker, washing machine, microwave oven, drinking machine, CTV, radio.)
2. Automotive electronics
3. Computers
4. Digital meter

■ Part Number Code



■ Structure and Dimensions



# NTC Thermistor: TTC05 Series



Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation

## Electrical Characteristics

Part No.	Zero Power Resistance at 25 °C	Tolerance of R <sub>25</sub>	B <sub>25/50</sub> Value	Max. Power Rating at 25 °C	Dissipation Factor	Thermal Time Constant	Operating Temperature Range	Safety Approvals				
	R <sub>25</sub> (Ω)	( ±%)	(K)	P <sub>max</sub> (mW)	δ(mW/°C)	t(Sec.)	T <sub>L</sub> -T <sub>U</sub> (°C)	UL	CSA	TUV	CQC	
TTC05005□	5		2400						✓	✓	✓	✓
TTC05010□	10		2800						✓	✓	✓	✓
TTC05015□	15		2800						✓	✓	✓	✓
TTC05020□	20		2800						✓	✓	✓	✓
TTC05025□	25		2900						✓	✓	✓	✓
TTC05045□	45		3100						✓	✓	✓	✓
TTC05050□	50		3100						✓	✓	✓	✓
TTC05060□	60		3100						✓	✓	✓	✓
TTC05085□	85		3200						✓	✓	✓	✓
TTC05090□	90		3200						✓	✓	✓	✓
TTC05101□	100		3200						✓	✓	✓	✓
TTC05121□	120		3300						✓	✓	✓	✓
TTC05151□	150		3300						✓	✓	✓	✓
TTC05201□	200		3500						✓	✓	✓	✓
TTC05221□	220		3500						✓	✓	✓	✓
TTC05251□	250		3500						✓	✓	✓	✓
TTC05301□	300		3800						✓	✓	✓	✓
TTC05471□	470		3500						✓	✓	✓	✓
TTC05501□	500		3700						✓	✓	✓	✓
TTC05681□	680		3800						✓	✓	✓	✓
TTC05701□	700		3800						✓	✓	✓	✓
TTC05102□	1000		3800						✓	✓	✓	✓
TTC05152□	1500	5 - 10 - 15	3950	450	Approx. 4.5	Approx. 20	-30~+125		✓	✓	✓	✓
TTC05202□	2000		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05222□	2200		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05252□	2500		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05302□	3000		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05332□	3300		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05402□	4000		4000						✓	✓	✓	✓
TTC05472□	4700		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05502□	5000		3950						✓	✓	✓	✓
TTC05602□	6000		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05682□	6800		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05802□	8000		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05103□	10000		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05123□	12000		4050						✓	✓	✓	✓
TTC05153□	15000		4150						✓	✓	✓	✓
TTC05203□	20000		4250						✓	✓	✓	✓
TTC05303□	30000		4250						✓	✓	✓	✓
TTC05473□	47000		4300						✓	✓	✓	✓
TTC05503□	50000		4300						✓	✓	✓	✓
TTC05104□	100000		4400						✓	✓	✓	✓
TTC05154□	150000		4500						✓	✓	✓	✓
TTC05204□	200000		4600						✓	✓	✓	✓
TTC05224□	220000		4600						✓	✓	✓	✓
TTC05474□	470000		4750						✓	✓	✓	✓

Note : □ = Tolerance of R<sub>25</sub>

Note2 : UL file no. E138827

CSA file no. 97495

TUV file no. R 50050155

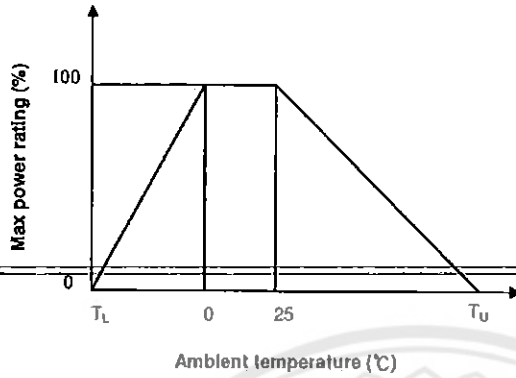
CQC file no. CQC05001011991 : CQC05001011994

# NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation



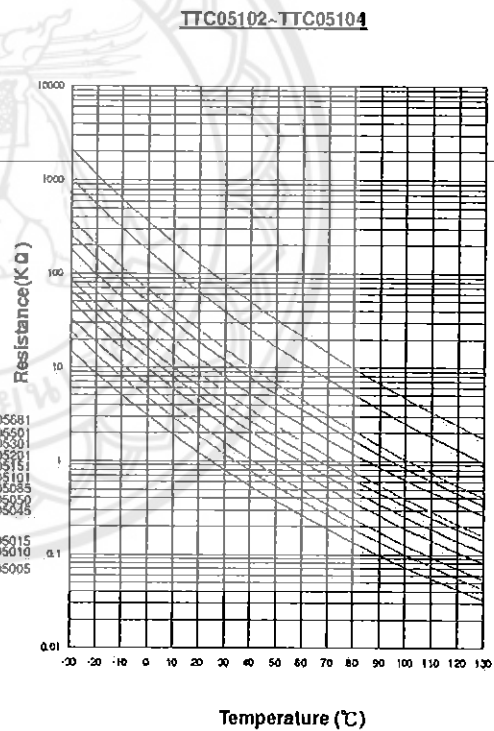
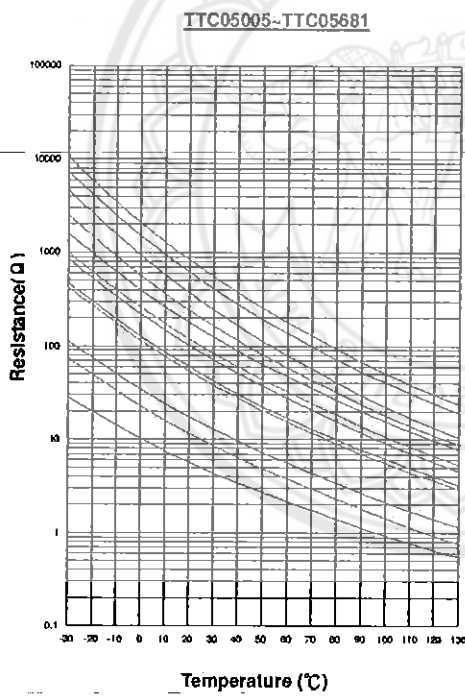
## ■ Power Derating Curve



$T_U$  : Maximum operating temperature (°C)  
 $T_L$  : Minimum operating temperature (°C)

For example : Ambient temperature( $T_a$ )=55°C  
 Maximum operating temperature( $T_U$ )=125°C  
 $P_{Ta} = (T_U - T_a) / (T_U - 25) \times P_{max} = 70\% P_{max}$

## ■ R-T Characteristic Curves (representative)





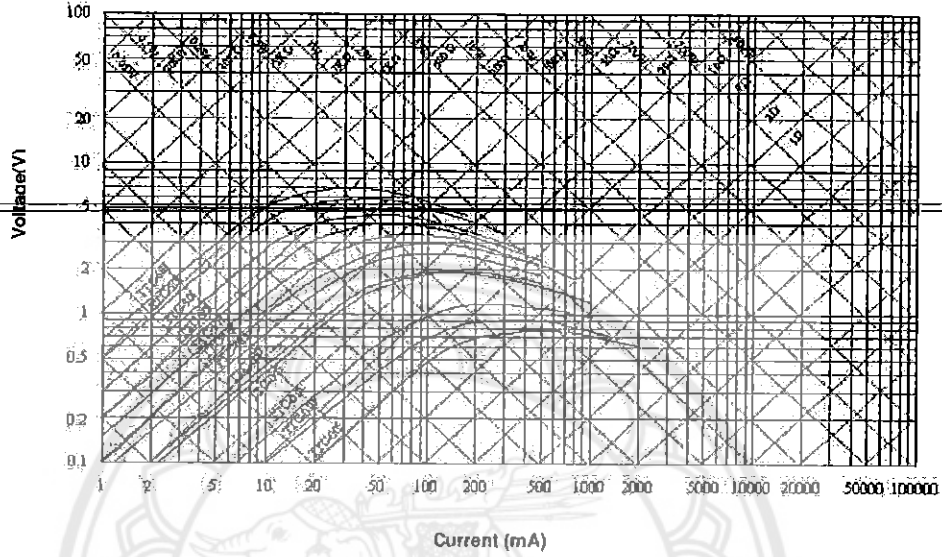
# NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation

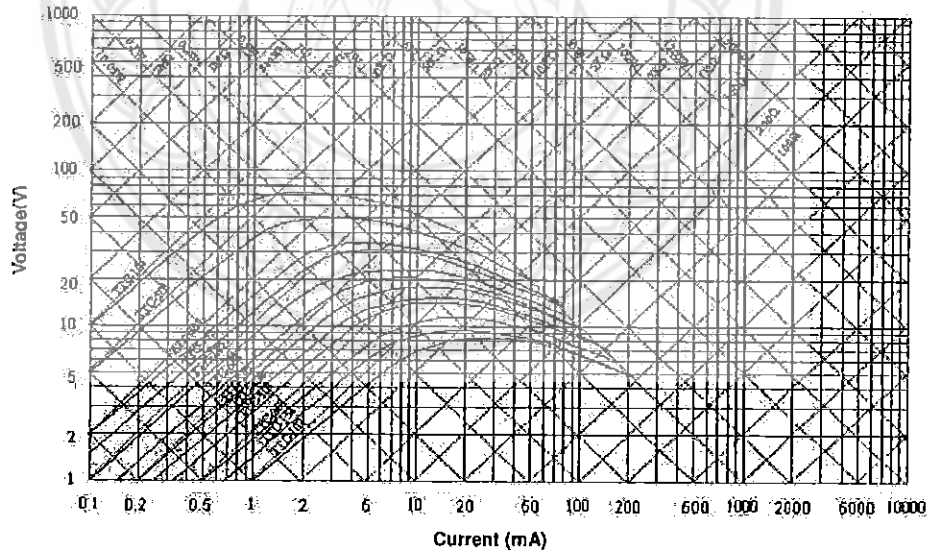


■ V-I Characteristic Curves (representative)

TTC05005~TTC05681



TTC05102~TTC05104



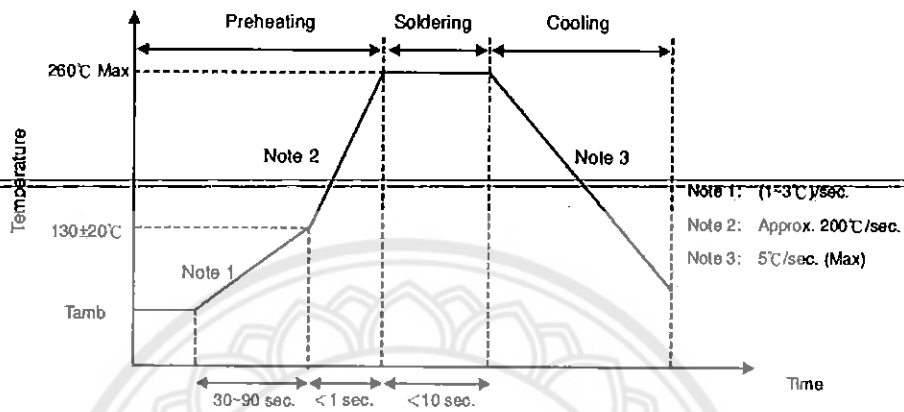
# NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation



■ Soldering Recommendation

● Wave Soldering Profile



● Recommended Reworking Conditions with Soldering Iron

Item	Conditions
Temperature of Soldering Iron-tip	360°C (max.)
Soldering Time	3 sec (max.)
Distance from Thermistor	2 mm (min.)

# NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation



## ■ Reliability

Item	Standard	Test conditions / Methods	Specifications															
Tensile Strength of Terminals	IEC60068-2-21	Gradually applying the force specified and keeping the unit fixed for 10±1 sec.  Terminal diameter (mm)      Force (Kg) ----- 0.3<d≤0.5                      0.5 0.5<d≤0.8                      1.0	No visible damage															
Bending Strength of Terminals	IEC60068-2-21	Hold specimen and apply the force specified below to each lead. Bend the specimen to 90°, then return to the original position. Repeat the procedure in the opposite direction.  Terminal diameter (mm)      Force (Kg) ----- 0.3<d≤0.5                      0.25 0.5<d≤0.8                      0.50	No visible damage															
Solderability	IEC60068-2-20	235 ± 5°C , 2 ± 0.5 sec	At least 95% of terminal electrode is covered by new solder															
Resistance to Soldering Heat	IEC60068-2-20	260 ± 5°C , 10 ± 1 sec	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 3 %															
High Temperature Storage	IEC60068-2-2	125 ± 5 °C, 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 5 %															
Damp Heat, Steady State	IEC60068-2-3	40 ± 2°C , 90-95% RH, 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 3 %															
Rapid Change of Temperature	IEC60068-2-14	The conditions shown below shall be repeated 5 cycles <table border="1"> <thead> <tr> <th>Step</th> <th>Temperature (°C)</th> <th>Period (minutes)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-30 ± 5</td> <td>30 ± 3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Room temperature</td> <td>5 ± 3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>125 ± 5</td> <td>30 ± 3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Room temperature</td> <td>5 ± 3</td> </tr> </tbody> </table>	Step	Temperature (°C)	Period (minutes)	1	-30 ± 5	30 ± 3	2	Room temperature	5 ± 3	3	125 ± 5	30 ± 3	4	Room temperature	5 ± 3	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 3 %
Step	Temperature (°C)	Period (minutes)																
1	-30 ± 5	30 ± 3																
2	Room temperature	5 ± 3																
3	125 ± 5	30 ± 3																
4	Room temperature	5 ± 3																
Life Test	IEC 60539-1	25 ± 5°C, Pmax. X 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 5 %															
Insulation Test	MIL-STD-202F -Method 302	1000 V <sub>DC</sub> 1 min	No visible damage ≥ 500 MΩ															

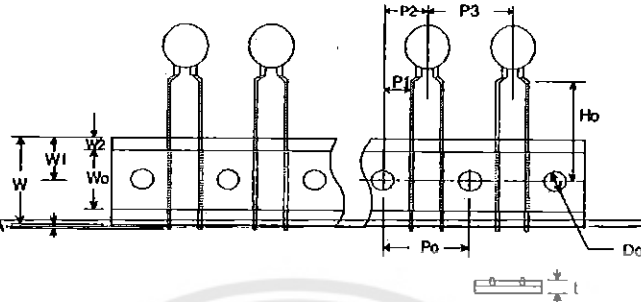
# NTC Thermistor: TTC05 Series



Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation

■ Packaging

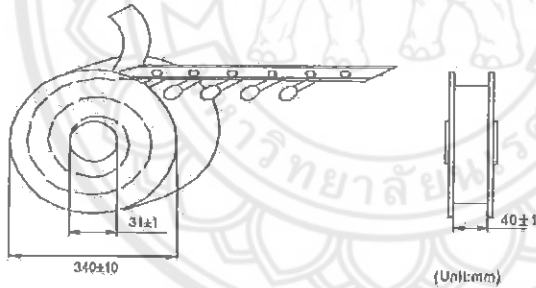
- Taping Specification  
For I Type Only (Inner kink lead)



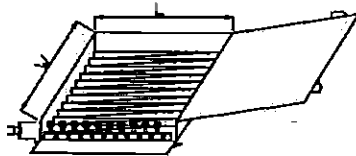
Taping Code	Body Size	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	H <sub>0</sub>	W <sub>0</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W	A	D <sub>0</sub>	t
		±0.5	±0.7	±1.3	±0.5	±0.5	±1	±0.5	Max.	±0.5	Max.	±0.2	±0.2
A (P <sub>0</sub> =12.7)	φ05	12.7	3.6	6.35	12.7	16	12	9	3	18	1	4	0.6
E (P <sub>0</sub> =15.0)	φ05	15	4.75	7.5	15	16	12	9	3	18	1	4	0.6

■ Quantity

- Bulk Packing: 200 pcs/bag
- Reel Packing: 2500 pcs/reel



- Ammo Packing: 2000 pcs/box



W	L	H
348mm	275mm	60mm

## NTC Thermistor: TTC05 Series

Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation



### ■ Storage Conditions of Products

- Storage Conditions :
  1. Storage Temperature : -10°C~+40°C
  2. Relative Humidity : ≤75%RH
  3. Keep away from corrosive atmosphere and sunlight.
- Period of Storage : 1 year



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายอัฐวุฒิ ตั้งนพวรรณ  
 ภูมิลำเนา 59/9 ม.1 ต.ตากฟ้า อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตากฟ้าวิชาประสิทธิ์  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 6

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : Attawut2552@hotmail.com



ชื่อ นายอิทธิพล คำตัน  
 ภูมิลำเนา 10 ม.8 ต.หล่มเก่า อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 6

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : IttiponK52@numail.ac.th

