

อุปกรณ์ทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล
THERMOCOUPLE TYPES TESTER

ปฐวี ศิริวิไล
อเนชา ปฏิบัติสรกิจ
อภิวิชญ์ เฉลยปราชญ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

อุปกรณ์ทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล
THERMOCOUPLE TYPES TESTER

ปฐวี ศิริวิไล
อเนชา ปฏิบัติสรกิจ
อภิวิชญ์ เฉลยปราชญ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

THERMOCOUPLE TYPES TESTER

PATAWEE SIRIVILAI
ANAECHEA PATIBATSORAKIT
APIWICH CHALEOYPRACH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุปกรณ์ทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล THERMOCOUPLE TYPES TESTER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปฐวี	ศิริวิไล	รหัสนักศึกษา 52010659
	นายอเนชา	ปฏิบัติสรกิจ	รหัสนักศึกษา 52011391
	นายอภิวิชญ์	เฉลยปราชญ์	รหัสนักศึกษา 52011398
อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา	อาจารย์สุธรรม	สัทธรรมสกุล	2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนออุปกรณ์ทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ในย่านอุณหภูมิต่ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหลักการ คือ นำเทอร์โมคัปเปิลไม่ทราบชนิดต่อกับวงจรขยายสัญญาณเพื่อขยายแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งมีขนาดอ่อนเพื่อให้แรงดันที่ได้มีขนาดสูงขึ้นทำให้สะดวกแก่การรับค่า หลังจากนั้นวงจร Analog to Digital จะทำหน้าที่รับกระแสจากวงจรขยายโดยเทอร์โมคัปเปิลต่างชนิดกันจะส่งกระแสไม่เท่ากัน โดยกระแสที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามอุณหภูมิระหว่าง 2 ชั่วโมงที่แตกต่างกัน จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับค่าจากวงจร Analog to Digital จะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยนำค่าจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS1820 2 ตัวโดยตัวที่หนึ่งทำหน้าที่วัดอุณหภูมิห้อง ตัวที่สองทำหน้าที่วัดอุณหภูมิชั่วคราวโดยจะรับค่าอุณหภูมิเดียวกับเทอร์โมคัปเปิลที่นำมาทดสอบ มาประกอบการประมวลผล เพื่อประมวลผลว่าเทอร์โมคัปเปิลที่ตรวจสอบ ณ อุณหภูมิ นั้นๆ เป็นชนิดใด และแสดงผลทางหน้าจอแสดงผลแบบ LCD

Thesis Title	THERMOCOUPLE TYPES TESTER
Authors	Mr. Patawee Sirivilai Mr. Anaecha Patibatsorakit Mr. Apiwich Chaleoyprach
Thesis Advisor	Mr. Sutham Satthamsakul
Year	2012

ABSTRACT

This project presents the type of thermocouple test equipment in the range of low temperature by using microcontroller. The principle is to bring the unknown types of thermocouple to connect with amplifier for expanding the voltage that comes from the thermocouple which has low voltage to have higher voltage make it easy to measure. After that the Analog to Digital will get the voltage from the amplifier by different type of thermocouple will send the unequal voltage. The voltage that occur will vary according to the different of two pole. Then the microcontroller that receive the signal from the Analog to Digital circuit will bring the value to compare with the reference value by bring the value from Digital Thermometer (DS1820) 2 unit by the first measure the temperature in the room and the second measure the temperature of hot pole by receive the same temperature as thermocouple which brought to be test to processing the evaluation for evaluating that the thermocouple which measure at each temperature are which kind and display through the LCD display.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาและสนับสนุนจาก อาจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดเวลา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการเล่มนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความรัก ความเมตตา ความห่วงใย และเป็นกำลังใจให้กับผู้จัดทำโครงการจนสำเร็จ และขอขอบพระคุณ พี่ๆ น้อง ๆ รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูงความดีของโครงการครั้งนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาบิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้จัดทำโครงการจนสามารถทำโครงการเล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและลักษณะโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เทอร์โมคัปเปิล.....	3
2.1.1 โครงสร้าง.....	3
2.1.2 ย่านการใช้งาน.....	4
2.1.3 เวลาตอบสนอง.....	4
2.1.4 การปรับสภาพสัญญาณ.....	4
2.1.5 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล.....	4
2.1.5.1 เทอร์โมคัปเปิลชนิด S.....	5
2.1.5.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิด R.....	5
2.1.5.3 เทอร์โมคัปเปิลชนิด B.....	6
2.1.5.4 เทอร์โมคัปเปิลชนิด J.....	6
2.1.5.5 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K.....	7
2.1.5.6 เทอร์โมคัปเปิลชนิด T.....	7
2.1.5.7 เทอร์โมคัปเปิลชนิด E.....	8
2.1.6 สมการแรงดันไฟฟ้า.....	8

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	9
2.2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	9
2.2.2 หน้าที่ขาสัญญาณต่างๆของ PIC16F877A.....	10
2.2.3 โครงสร้างภายในชิพ PIC16F877A.....	15
2.3 ทฤษฎีเซนเซอร์อุณหภูมิ DS1820.....	16
2.3.1 คุณสมบัติเด่นของ DS1820.....	16
2.3.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820.....	17
2.3.3 การวัดอุณหภูมิ.....	18
2.3.4 การทำงานของสัญญาณเตือน.....	19
2.3.5 บิทเลเซอร์รวม.....	20
2.3.6 การต่อแหล่งจ่ายไฟ.....	20
2.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....	21
2.5 การแสดงผลแบบ LCD.....	22
2.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูลของจอแสดงผล LCD.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 บทนำ.....	24
3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	24
3.3 วงจรขยายสัญญาณแรงดัน.....	25
3.4 การออกแบบส่วนประมวลผลกลาง.....	25
3.5 หน้าจอแสดงผลแบบ LCD.....	26
3.6 ภาพรวมการออกแบบและควบคุม.....	26
3.7 แผนผังลำดับงานของเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล.....	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.1 บทนำ.....	29
4.2 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.2.1 การทดลองหาค่าจูนเนอร์และค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ.....	29
4.2.2 การทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำในการทำงานของเครื่องทดสอบ.....	32
ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล	

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	34
4.1 สรุปผลการทดลอง.....	34
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	36

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	10
2.2 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	11
2.3 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	12
2.4 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	13
2.5 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	14
2.6 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุต.....	20
4.1 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J.....	30
4.2 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K.....	30
4.3 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด E.....	31
4.4 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด N	31
4.5 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J.....	32
4.6 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K.....	32
4.7 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด E.....	33
4.8 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด N.....	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงผลของซีแบ็ค.....	3
2.2 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล.....	4
2.3 ตำแหน่งขาของ PIC 16F877A.....	14
2.4 แสดงโครงสร้างภายใน PIC 16F877A.....	15
2.5 ไอซี DS1820.....	16
2.6 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820.....	17
2.7 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ.....	19
2.8 แสดงค่า -25 องศาเซลเซียส.....	19
2.9 แสดงการจัดการแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS1820 ใน 1-wire.....	21
2.10 แสดงการจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเทอร์เฟสร่วมของ DS1820.....	21
หลายตัวบนบัส 1-wire	
2.11 วงจรขยายออฟแอมป์แบบไม่กลับเฟส.....	22
3.1 ตำแหน่งขาของ DS1820.....	24
3.2 บล็อกไดอะแกรมของ TLC2272CP.....	25
3.3 ลักษณะการต่อใช้งาน PIC 16F877A.....	25
3.4 บล็อกไดอะแกรมของ ABC016002A07-GHY.....	26
3.5 ภาพรวมการออกแบบและควบคุม.....	26
4.1 แบบวงจรที่ทำการทดลองหาจูนเนอร์.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและลักษณะของโครงการ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทย มีการนำเทอร์โมคัปเปิล มาใช้เป็นอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และเทอร์โมคัปเปิลนั้นก็มียู้อยู่ด้วยกันหลายชนิด สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือกระบวนการในอุตสาหกรรมนั้นๆ โดยในการทดสอบเพื่อระบุชนิดของเทอร์โมคัปเปิลนั้น จะนิยมทดสอบในช่วงอุณหภูมิที่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเทอร์โมคัปเปิล ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงในช่วงอุณหภูมิต่ำ ทำให้การทดสอบค่อนข้างยุ่งยาก แต่หากว่าสามารถทำการทดสอบเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถจำแนกหรือแยกแยะชนิดของเทอร์โมคัปเปิลได้น่าจะเป็นประโยชน์ โครงการนี้จึงนำเสนออุปกรณ์ทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

- 1) ศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
- 2) ศึกษาการทำงานและควบคุมบน PIC Micro Controller
- 3) ศึกษาการทำงานวงจรขยายสัญญาณ
- 4) ศึกษาการทำงานของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS1820
- 5) ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุม PIC ด้วยภาษาซี เพื่อนำข้อมูลไปแสดงบนจอแสดงผล

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

- 1) สามารถรับค่าแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลผ่านวงจรขยายและรับค่าจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS1820 ไปที่ PIC ได้
- 2) สามารถสร้างเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล โดยสามารถแยกชนิดของเทอร์โมคัปเปิลได้สี่ชนิด J,K,N,E และสามารถแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานผลการศึกษาและทดลองตลอดภาคการศึกษาเพื่อ ออกแบบเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งขั้นตอนการศึกษาแบ่งได้ ดังนี้

- 1) ศึกษาความเป็นมาและลักษณะของโครงการ
- 2) ศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
- 3) ศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของ PIC
- 4) ศึกษาการเขียนโปรแกรมติดต่อระหว่าง ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS1820 และ PIC
- 5) ศึกษาการทำงานของวงจร Analog To Digital ภายใน PIC
- 6) ศึกษาวงจรขยายสัญญาณ
- 7) ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุม PIC ด้วยภาษาซี

8) ทำการทดลองหาค่าเพื่อนำไปใช้ในสมการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

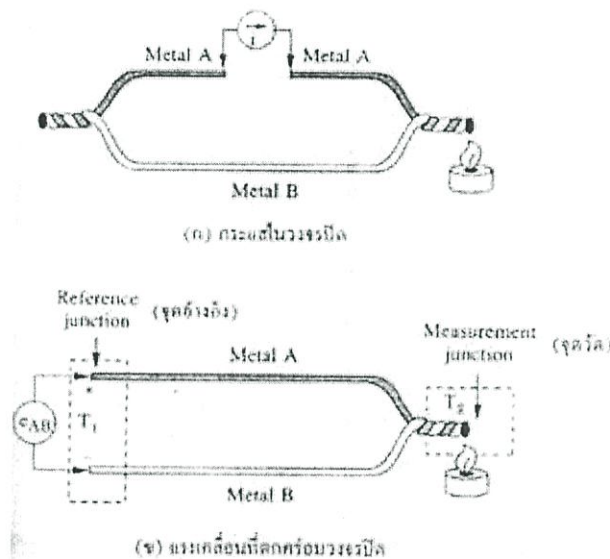
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สามารถสร้างเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล โดยแยกชนิดของเทอร์โมคัปเปิลได้สี่ชนิด J,K,N,E และสามารถแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลได้
- 2) ได้เรียนรู้การทำโครงการหรือสิ่งประดิษฐ์ โดยมีการทำงานเป็นกลุ่ม
- 3) เป็นเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลต้นแบบที่สามารถนำไปใช้งานและพัฒนาต่อได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

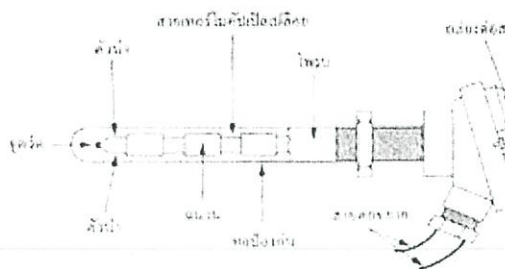
เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่า จุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปที่ 2.1 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีแบ็คดังกล่าว



รูปที่ 2.1 แสดงผลของซีแบ็ค

2.1.1 โครงสร้าง (Construction)

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 โดยต้องมีลักษณะดังนี้ คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่าและเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝึกหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียม และซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอโมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

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

2.1.2 ย่านการใช้งาน (Range)

ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมการจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมการ ที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

2.1.3 เวลาตอบสนอง (Time Response)

เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสาย และวัสดุที่นำมาทำห่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

2.1.4 การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้วงจรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.1.5 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

2.1.5.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S

ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

- ข้อดีของแบบ S

- 1) เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง (oxidizing)
- 2) เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยา ใดๆได้ง่ายๆ
- 3) นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
- 4) วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ -50 ถึงประมาณ 1700 องศาเซลเซียส
- 5) หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
- 6) ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.740 องศาเซลเซียส) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.430 องศาเซลเซียส) ตามมาตรฐาน IPTS 68

- ข้อเสียของแบบ S

- 1) ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
- 2) ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reducing)
- 3) ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ (vacuum)
- 4) ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
- 5) ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.1.5.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R

เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

- ข้อดีของแบบ R

- 1) ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S
- 2) วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600 องศาเซลเซียส
- 3) วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง -50 ถึงประมาณ 1700 องศาเซลเซียส
- 4) เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- 5) ทนทานต่อการกัดกร่อนและให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี

ส่วนลักษณะข้อเสียเช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่มอุณหภูมิต่ำกว่า 5400 องศาเซลเซียส

2.1.5.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ B

ผลิตครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

- ข้อดีของแบบ B

- 1) วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600 องศาเซลเซียส
- 2) วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750 องศาเซลเซียส
- 3) แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- 4) เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิง และสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (linearity) ดี

- ข้อเสียของแบบ B

- 1) ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- 2) ไม่เหมาะกับสภาวะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- 3) ไม่เหมาะกับสภาวะที่เป็นสุญญากาศ
- 4) ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S
- 5) ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region) จากอุณหภูมิในช่วง 0-42 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมี อุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสจะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42 องศาเซลเซียส
- 6) ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น ๆ

2.1.5.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J

พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิล ความคุ้มทุนก็ลดลงไปดังนั้นเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิราคาถูกลง จึงใช้วัสดุธาตุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสีตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวกจะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาว ทั้งตัวจะเป็นสีดำ

- ข้อดีของแบบ J

- 1) ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- 2) มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- 3) ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ -210 ถึง 1200 องศาเซลเซียส
- 4) เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760 องศาเซลเซียส
- 5) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- 6) เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

- ข้อเสียของแบบ J
 - 1) วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
 - 2) ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
 - 3) หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง
 - 4) หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็ก จะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2.1.5.5 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้าง คือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลอบบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

- ข้อดีของแบบ K
 - 1) เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
 - 2) สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้นๆ จะวัดได้จาก -180 ถึง 1,350 องศาเซลเซียส
 - 3) สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือ สภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่นๆ
 - 4) สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
 - 5) ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่นๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน
- ข้อเสียของแบบ K
 - 1) ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิง และออกซิไดซิงโดยตรง
 - 2) ไม่เหมาะกับการวัดที่มีไอของซิลเฟอร์
 - 3) ไม่เหมาะกับการวัดที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
 - 4) หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

2.1.5.6 เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

- ข้อดีของแบบ T
 - 1) ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
 - 2) ให้ความแม่นยำในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ความแม่นยำจะเป็น 1%)
 - 3) มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิ

- 4) การวัดสภาพงานที่เป็นสัญญาณคาบงานที่มีปฏิกริยาแบบออกซิไดซิงรี-ดิวิซิง และงานที่มีปฏิกริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี
 - 5) วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง -185 ถึง 300 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง -250 ถึง 400 องศาเซลเซียส
 - 6) ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี
- ข้อเสียของแบบ T
- 1) เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ
 - 2) หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดออกซิมาก
 - 3) ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไปคุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
 - 4) เมื่อใช้งานไปนานๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
 - 5) คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้นแต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ

2.1.5.7 เทอร์โมคัปเปิลชนิด E

- ข้อดีของแบบ E
- 1) ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่นๆ ในสถานะเดียวกัน
 - 2) วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800 องศาเซลเซียส
 - 3) คุณสมบัติอื่นๆ คล้ายกับแบบ K

2.1.6 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่กำเนิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V = \int_{T_1}^{T_2} SdT = S(T_2 - T_1) \quad (1.1)$$

S = อัตราการเพิ่มของกระแสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (mV/ C)

T_2 = อุณหภูมิขั้วร้อน (C)

T_1 = อุณหภูมิขั้วเย็น (C)

ค่า S จากสมการหาจากการเทียบค่าจากตารางมาตรฐานของ ANSI

2.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิพ (Microship) โดยเฉพาะเบอร์ PIC16F877A เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแรกๆที่มีการประมวลผลแบบ RISC Processor (RISC : Reduced

Instruction Set Computer) โดยใช้คำสั่งการประมวลผลเพียง 33-35 คำสั่งและใช้เวลาในการประมวลผลคำสั่งเพียง 1 หรือ 2 machine cycle ต่อคำสั่งเท่านั้นการประมวลผลคำสั่งเป็นลักษณะ Pipe Line ขณะประมวลผลคำสั่งแรก จะทำการโหลดคำสั่งถัดไปมาเตรียมรอไว้ ทำให้การทำงานรวดเร็วมากนอกจากนั้นในตัวโครงสร้างยังประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ฟังก์ชันโมดูลสำหรับใช้งานพิเศษต่างๆมากมายได้แก่ โมดูล Analog to Digital Converter,USART,Time/Counter,SPI,Compar, /Capture/PWM เป็นต้น โมดูลเหล่านี้ล้วนเพิ่มขีดความสามารถให้นำไปใช้งานได้หลากหลาย ประกอบกับมีเครื่องมือในการพัฒนาที่เพียบพร้อม

2.2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A มีดังนี้

- 1) มีคำสั่งในภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง
- 2) ใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้สูงสุด 20 MH
- 3) มีหน่วยความจำโปรแกรม Flash Memory ขนาด 8 K word (14-bit word)
- 4) มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ RAM 369 Byte
- 5) มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM 256 Byte
- 6) มีการตอบสนองอินเตอร์รัพท์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- 7) สามารถเลือกระดับการป้องกันข้อมูล (Code Protection) ได้
- 8) มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- 9) สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- 10) มีฟังก์ชันการรักษาเสถียรภาพการทำงานได้แก่ POR,PWRT,OST,BOR และ WDT
- 11) การโปรแกรมตัวชิพ ICSP (ICSP : In-Circuit Serial Programming) สามารถทำที่ไฟเลี้ยงวงจรตั้งแต่ 2.0 V ถึง 5.5 V
- 12) ขาพอร์ต I/O แต่ละขาสามารถรับและปล่อยกระแสได้สูงสุด 26 mA
- 13) มีโมดูล Timer/Counter ใช้งานทั้งหมด 3 ตัว Timer 0,Timer 1 และ Timer 2
- 14) มีโมดูล CCP (CCP : Compare/Capture/PWM) จำนวน 2 ชุด
- 15) มีโมดูล Analog to Digital Converter ความละเอียด ขนาด 8 บิต และ 10 บิต จำนวน 8 ช่อง ภาพในตัวชิพ
- 16) มีโมดูลสื่อสารแบบอนุกรมแบบ USART (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter)
- 17) มีพอร์ต I/O จำนวน 5 พอร์ต A,B,C,D และ E มีขา I/O รวมกัน 33 ขาดังนี้คือ

PORTA มี 5 ขา	RA0	ถึง	RA5
PORTB มี 8 ขา	RB0	ถึง	RB7
PORTC มี 8 ขา	RC0	ถึง	RC7
PORTD มี 8 ขา	RD0	ถึง	RD7
PORTE มี 3 ขา	RE0	ถึง	RE2

2.2.2 หน้าที่ขาสัญญาณต่างๆ ของ PIC16F877A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A มีขาจำนวน 40 ขาดังรูปที่ 2.3 หน้าที่ของขาต่างๆมี ดังนี้

- 1) MCLR/VPP (Master Clear Reset/Programming Voltage Input) ทำหน้าที่เป็น
 - ขารีเซตหลัก (Reset) เมื่อขานี้ได้รับสถานะลอจิก “0” ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซตขาขึ้นปกติจะมีสถานะลอจิก “1” ถูกต่อเข้าไฟเลี้ยงผ่านรีซิสเตอร์
 - ขาอินพุตรับแรงดันสูงสำหรับการโปรแกรม
- 2) VDD ขาต่อไฟเลี้ยงบวก +3 ถึง +5.5V.
- 3) VSS ต่อลงกราวด์
- 4) OSC1/CLKIN (Oscillator Crystal/ External Clock Source)
 - ขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาหลักเมื่อทำงานในโหมด EC
 - ต่อดั้วต้านทานเพื่อกำหนดค่าความถี่ในโหมด ER
 - ขาต่อคริสตอล เมื่อทำงานในโหมด LP, XT และ HS
- 5) OSC2/CLKOUT (Oscillator Crystal/ External Clock Source)
 - เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาหลัก เมื่อทำงานในโหมด EC ความถี่เท่ากับ ¼ ของความถี่ที่ขา OSC1
 - ขาต่อคริสตอล เมื่อทำงานในโหมด LP, XT และ HS
- 6) ขาพอร์ตมีจำนวน 5 พอร์ต คือ พอร์ต A, B, C, D และพอร์ต E พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A เป็นได้ทั้งอินพุตพอร์ตและเอาต์พุตพอร์ต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง (Bi Directional Input Output Port) ใช้ในการรับและส่ง ข้อมูลนอกจากนี้ยังมีหน้าที่อื่นๆ ดังตารางที่ 2.1 – 2.5

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA0 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 0
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA1 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 1
RA2/AN2/VREF-	4	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA2 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 2 - เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงลบ

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A (ต่อ)

พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RA3/AN3/VREF+	5	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA3 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 3 - เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงบวก
RA4/TOCK1	6	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA4 กรณีใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 0
RA5/AN4/SS	7	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA5 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 4 - อินพุตสัญญาณ Slave Select พอร์ตอนุกรม

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RB0/INT	33	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB0 - อินพุตวงจรอินเตอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	34	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB1
RB2	35	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB2
RB3/PGM	36	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB3 - อินพุตแรงดันต่ำในการบันทึกโปรแกรม
RB4	37	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB4
RB5	38	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB5
RB6/PGC	39	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB6 - ขาสัญญาณนาฬิกาของการโปรแกรม
RB7/PGD	40	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB7 - ขาสัญญาณข้อมูลของการโปรแกรม

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

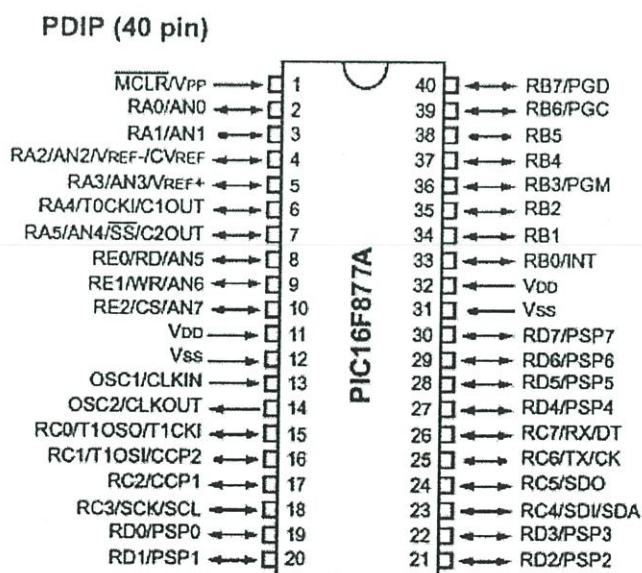
พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RC0/T1OSO/ T1CKI	15	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC0 - ขาสัญญาณเอาต์พุตของ วงจรรอสซิลเลเตอร์ของ ไทมเมอร์ 1 - ขาสัญญาณอินพุตของ สัญญาณนาฬิกาไทมเมอร์ 1
RC1/T1OSI/ CCP2	16	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC1 - ขาสัญญาณอินพุตของ วงจรรอสซิลเลเตอร์ไทมเมอร์ 1 - ขาสัญญาณเอาต์พุตของ โมดูล CCP2
RC2/CCP1	17	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC2 - ขาสัญญาณเอาต์พุตของ โมดูล CCP1
RC3/SCK/SCL	18	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC3 - ขาสัญญาณนาฬิกาของ วงจรร SPI - ขาสัญญาณนาฬิกาของ วงจรร I ² C
RC4/SDI/SDA	23	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC4 - ขาสัญญาณอินพุต Serial Data วงจรร SPI - ขาข้อมูลของวงจรร I ² C
RC5/SDO	24	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC5 - ขาสัญญาณเอาต์พุต SerialData วงจรร SPI
RC6/TX/CK	25	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC6 - ขาส่งข้อมูลแบบพอร์ต อนุกรม - ขาสัญญาณนาฬิกาแบบ ซิงค์โคนัส
RC7/RX/DT	26	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RC7 - ขารับข้อมูลแบบพอร์ต อนุกรม - ข้อมูลแบบซิงค์โคนัส

ตารางที่ 2.4 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RD0/PSP0	19	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD0 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 0
RD1/PSP1	20	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD1 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 1
RD2/ PSP2	21	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD2 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 2
RD3/ PSP3	22	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD3 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 3
RD4/ PSP4	27	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD4 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 4
RD5/ PSP5	28	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD5 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 5
RD6 PSP6	29	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD6 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 6
RD7/ PSP7	30	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RD7 - ขาขยายสัญญาณพอร์ต แบบขนาน บิต 7

ตารางที่ 2.5 หน้าที่ของขาสัญญาณของพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

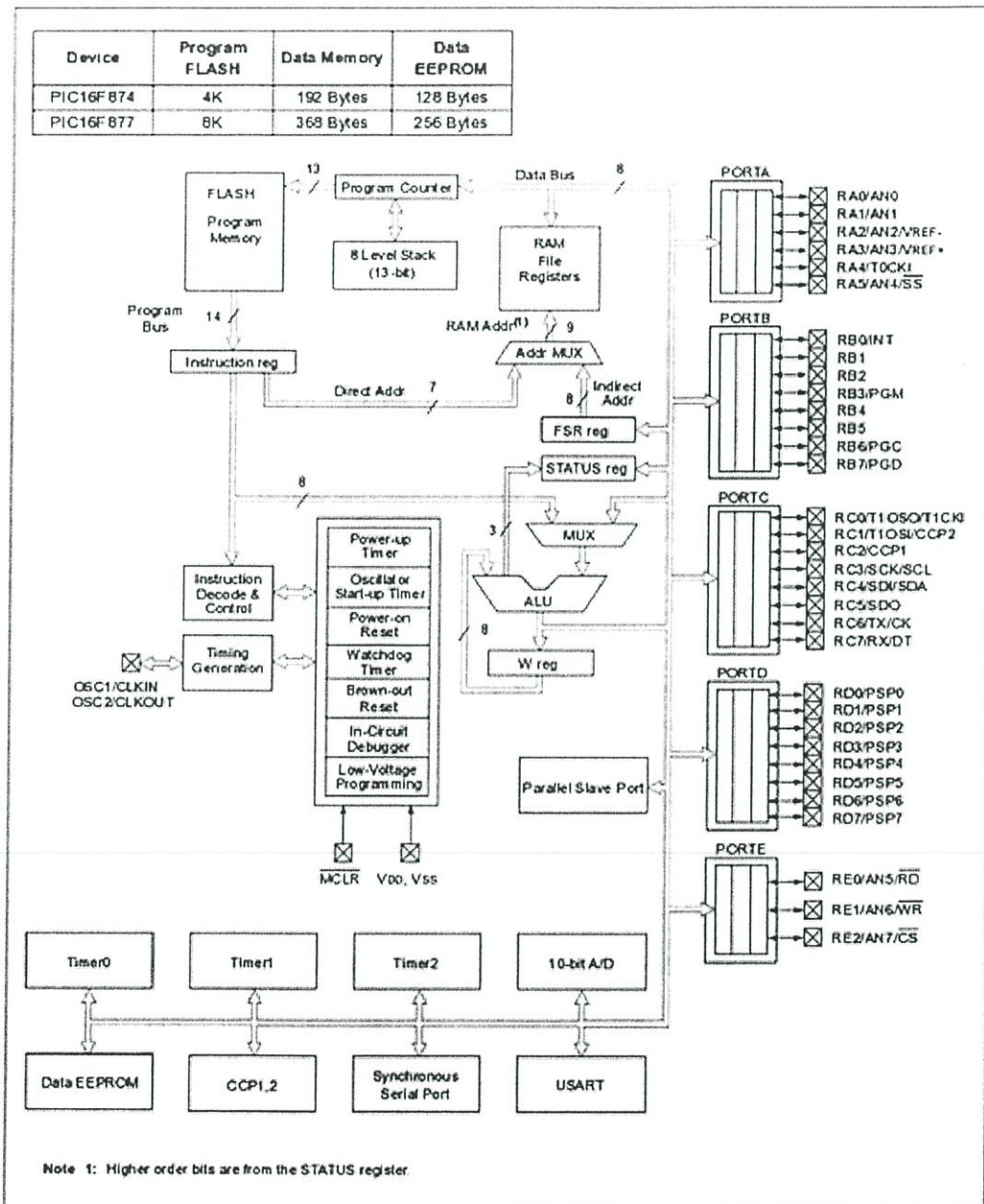
พอร์ต	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RE0/AN5/RD	8	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RE0 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 5 - ขาขยายสัญญาณพอร์ตแบบขนานควบคุมการอ่าน
RE1/AN6/WR	9	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RE1 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 6 - ขาขยายสัญญาณพอร์ตแบบขนานควบคุมการเขียน
RE2/ AN7/CS	10	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RE2 - อินพุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกช่อง 7 - ขาขยายสัญญาณพอร์ตแบบขนานควบคุมการเลือกอุปกรณ์



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งขาของ PIC16F877A

2.2.3 โครงสร้างภายในชิพ PIC16F877A

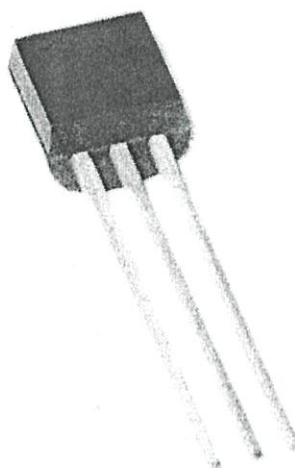
ดังรูปที่ 2.4 จะมี Register สำคัญๆ คือ W ซึ่งเป็น Register ที่ใช้ในการทำ Input ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ ALU, STATUS เป็น Register ที่ใช้เก็บสถานะ การทำงานของคำสั่ง ว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข, PC หรือ Program Counter เป็น Register อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากใช้สำหรับเป็นตัวชี้ว่า คำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดในหน่วยความจำ



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างภายใน PIC16F877A

2.3 ทฤษฎีเซนเซอร์อุณหภูมิ DS1820

DS1820 จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบดิจิตอล และยังสามารถที่จะทำการโปรแกรมเข้าไปยังหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันภายในไอซีได้ ซึ่งมีหน่วยความจำรวมภายในขนาด 64 บิต แบบเลเซอร์รอม ดังนั้น จึงสามารถที่จะทำการอ่านและเขียนข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับหน้าที่การทำงานโดยในรูปแบบที่ 2.5 คือ DS1820 ในการตรวจวัดอุณหภูมิได้อย่างมากมายตามการประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถติดตั้ง DS1820 เพื่อการตรวจวัดอุณหภูมิได้ในหลายลักษณะ และหลายสถานที่ตำแหน่งการติดตั้งที่มีความแตกต่างอย่างมากกับอุปกรณ์ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งภายในอาคาร, อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หรือ ภายในเครื่องจักร และเอาต์พุตที่เป็นอนุกรมตัวเลขของ DS1820 สามารถต่อเอาต์พุตบนสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวได้หลายๆ ชุดโดยไม่สับสนข้อมูลซึ่งกันและกัน ลักษณะอุปกรณ์ DS1820 แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไอซี DS1820

2.3.1 คุณสมบัติเด่นของ DS1820

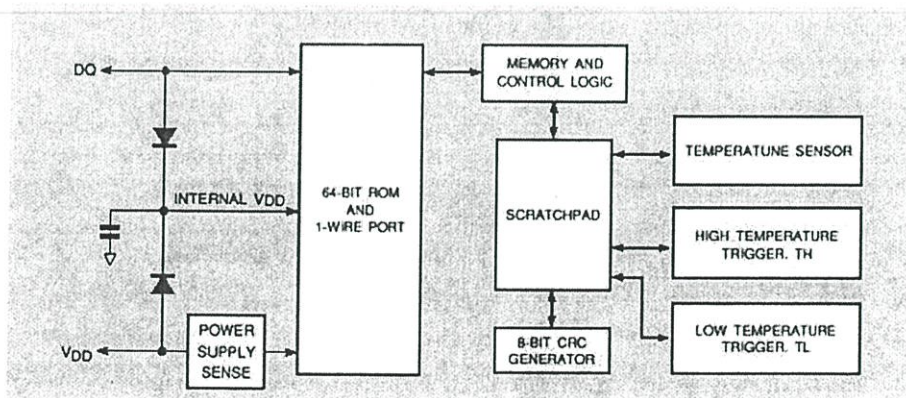
- 1) อินเตอร์เฟซสัญญาณผ่านขาเอาต์พุตเพียงพอร์ตเดียวแบบ 1 สายข้อมูล(1 - wire)
- 2) ขยายจุดตรวจจับอุณหภูมิได้หลายๆ จุดบนสายข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูล
- 3) ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกมาต่อร่วม
- 4) สามารถควบคุมการทำงานเพาเวอร์ออนได้ผ่านทางสายข้อมูล
- 5) เพาเวอร์ขณะสแตนด์บายเป็นศูนย์
- 6) ย่านการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียสถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาเซลเซียสต่อสแต็ป หรือตั้งแต่นาน -67 องศาฟาเรนไฮต์ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ที่ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ต่อสแต็ป
- 7) อุณหภูมิจะถูกอ่านออกมาเป็นค่าทางดิจิตอล 9 บิต
- 8) อัตราความเร็วในการแปลงจากอุณหภูมิมาเป็นค่าตัวเลขทางดิจิตอลเท่ากับ 200 มิลลิวินาที
- 9) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการเซตค่าเตือนย่านอุณหภูมิได้ในแบบ non - volatile

- 10) การเตือนย่านอุณหภูมินั้นสามารถกำหนดรหัสผ่าน การสั่งการและแอดเดรสของอุปกรณ์ได้จากภายนอกพื้นที่ตรวจวัดอุณหภูมิผ่านทางโปรแกรมภายนอก
- 11) เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานตรวจวัดอุณหภูมิ และติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ควบคุมเทอร์โมสแตติก ระบบโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ เทอร์โมมิเตอร์ หรือระบบอื่นๆ ที่มีส่วนตรวจจับอุณหภูมิทำงานร่วมอยู่

2.3.2 บล็อกไดอะแกรมภายในของDS1820

ในรูปที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของการทำงานต่างๆ ภายในตัว DS1820 มีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต ส่วนเซ็นเซอร์อุณหภูมิและส่วนกระตุ้นเตือนอุณหภูมิแบบ non - volatile (TH และ TL) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมสภาวะการเพาเวอร์ออน และเพาเวอร์ออฟจากไลน์ข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูลจากการเก็บรักษากำลังงานสำรองไว้ในตัวเก็บประจุภายใน ในช่วงระหว่างคาบเวลาเมื่อสัญญาณภายในไลน์มีสถานะเป็น high และจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และการหยุดการทำงานก็จะเกิดขึ้นจากการหยุดจ่ายแหล่งจ่ายในช่วงระหว่างค่าเวลานั้นเป็น low ของไลน์ข้อมูลและจะหยุดอยู่เช่นนั้นจนกว่าขาไลน์ข้อมูลจะกลับมาเป็น high อีกครั้ง และแหล่งจ่ายไฟหลักนี้ก็จะได้จากแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ภายนอกการติดต่อข้อมูลกับ DS1820 จะติดต่อผ่านพอร์ตเพียงพอร์ตเดียวคือ 1 - Wire พอร์ต ภายในพอร์ต 1 - wire นี้ในส่วนของหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันโปรโตคอลของรอมจะถูกทำการเซตค่าเสียก่อน ในส่วนสำคัญของการทำงานฟังก์ชันอันดับแรกซึ่งเป็นหนึ่งในห้าลำดับของการสั่งการฟังก์ชันในรอมก็คือการอ่าน

- 1) หน่วยความจำรอม
- 2) ทำการแมตซ์รอม
- 3) ค้นหารอม
- 4) กระโดดข้ามรอม
- 5) เตือนการค้นหา



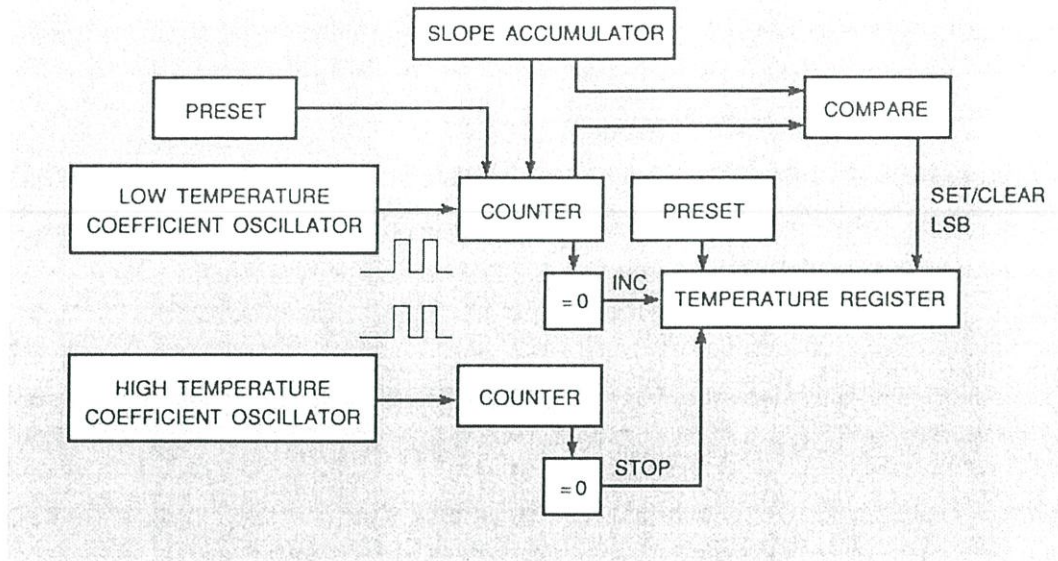
รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมภายในของ DS1820

การทำงานของระบบการสั่งการนี้จะทำงานบนพื้นที่หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิตผ่านพอร์ตไอซีแต่ละตัวและสามารถให้เอาท์พุตเดียวเพื่อกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับ

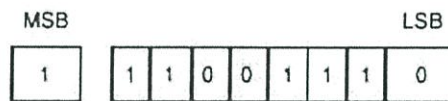
อุณหภูมินี้หลายๆ ตัวก็ทำได้โดยส่งการผ่านไลน์ข้อมูล 1- wire นี้ หลังจากฟังก์ชันในรอมถูกลำดับการทำงานแล้ว ก็พร้อมที่จะถูกใช้งาน และสามารถที่จะเข้าถึงการทำงานภายในตัวไอซีได้ทั้งหมด หน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันก็จะถูกเข้าถึงการทำงานได้ และส่วนจัดเก็บค่าที่เซตไว้สามารถถูกเก็บไว้ในพื้นที่ 1 ส่วนจากทั้งหมด 6 ส่วนของหน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันการสั่งการ ส่วนควบคุมฟังก์ชันการสั่งการหนึ่งส่วนจะถูกกำหนดคุณสมบัติของ DS1820 ให้อยู่ในรูปแบบของการวัดค่าของอุณหภูมิ ซึ่งผลของการวัดนี้จะถูกบันทึกไว้ใน DS1820 ในส่วนของหน่วยความจำส่วนหนึ่ง (scratchpad) และบางครั้งก็จะอ่านออกมาได้จากตารางสารบัญของหน่วยความจำฟังก์ชันการสั่งการ ซึ่งเป็นการอ่านออกมาเฉพาะหัวข้อที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ scratchpad สัญญาณกระตุ้นเตือนค่าอุณหภูมิสูงเกินและต่ำเกิน (TH และ TL) จะประกอบด้วย 1 ไบต์ EEPROM ถ้าสัญญาณการเตือนการค้นหาไม่ถูกจ่ายเข้าไปยัง DS1820 รีจิสเตอร์เหล่านี้บางครั้งจะถูกใช้ได้อย่างทั่ว ไปจากหน่วยความจำที่ผู้อ่านกำหนดได้ การเขียนเข้าไปในส่วนของ การเตือน TH และ TL จะไม่ใช่หน่วยความจำฟังก์ชันการสั่งการ และการเข้าไปถึงรีจิสเตอร์นี้จะอ่านผ่านหน่วยความจำ scratchpad และข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการอ่านและเขียนจะกระทำได้ในบิตแรกของ LSB

2.3.3 การวัดอุณหภูมิ

DS1820 จะทำการวัดค่าวัดอุณหภูมิโดยอาศัยเทคนิคการวัดแบบอนบอร์ดพิเศษซึ่งเป็นเทคนิคการวัดโดยเฉพาะของอุปกรณ์ชนิดนี้ ในรูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวัดค่าอุณหภูมิของ DS1820 ซึ่งจะอาศัยการวัดอุณหภูมิโดยการนับจำนวนวงรอบของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมา ช่วงเวลาเกิดของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมาจะเป็นการกำหนดได้จากช่วงคาบเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำสุด ไปจนถึงค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ซึ่งจะมีค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าการนับตัวเลขจะเริ่มนับที่ค่าอุณหภูมิต่ำสุดพื้นฐาน คือ -55 องศาเซลเซียส ถ้าการนับสัญญาณนาฬิกามาถึงค่าศูนย์ก่อนที่เวลาเกิดจะเกินมา รีจิสเตอร์อุณหภูมิก็จะแสดงผลที่ค่า -55 องศาเซลเซียส ถ้าหากค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การแสดงผลของอุณหภูมิขณะนั้นก็จะสูงกว่า -55 องศาเซลเซียสในทำนองเดียวกันนี้ การตั้งค่าของการนับจะกำหนดได้จากการเพิ่มความลาดลงของวงจรรนับ ซึ่งวงจรรนับต้องการการชดเชยสำหรับการแสดงคุณสมบัติของส่วนโค้งของออสซิลเลเตอร์ที่อุณหภูมิมีค่าเกินมา วงจรรนับก็จะนับสัญญาณนาฬิกาอีกครั้งจนกว่ามันจะได้ค่าเป็นศูนย์ ถ้าคาบเวลาเกิดอยู่ในสภาวะสงบนิ่งไม่มีการปรับแต่งก็จะเกิดการประมวลผลใหม่อีกครั้งหนึ่งการคำนวณค่าภายใน DS1820 จะให้ความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อช่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการอ่านค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ภายใน 16 บิตโดยมีนัยสำคัญ 2 ส่วนประกอบการอ่าน ในรูปที่ 2.9 แสดงคุณลักษณะรายละเอียดความสัมพันธ์ของข้อมูลทางเอาท์พุทกับการจัดอุณหภูมิ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นอนุกรมบนการอินเตอร์เฟสกับสายข้อมูล 1- wire ซึ่ง DS1820 สามารถทำการวัดค่าอุณหภูมิได้เกินย่านตั้งแต่ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาต่อช่วง ค่าอุณหภูมิที่ถูกทำการปรับตั้งไว้ใน DS1820 ในเทอมของ 1/ 2 องศาเซลเซียส LSB ซึ่งจะ เป็นไปตามรูปแบบของข้อมูล 9 บิต ที่ MSB บิตเป็นคู่เปรียบเทียบกับทุกบิตใน MSB สูงสุดของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 2 ไบต์ ในหน่วยความจำซึ่งการอ่านค่าอุณหภูมิแบบ 16 บิต ในลักษณะสำคัญต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 2.8 แสดงค่า -25 องศาเซลเซียส

2.3.4 การทำงานของสัญญาณเตือน

หลังจากที่ DS1820 มีการตรวจวัดอุณหภูมิเกิดขึ้นแล้วค่าของอุณหภูมิก็จะทำการเปรียบเทียบเพื่อทำเป็นสัญญาณกระตุ้น การเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิจะเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกบันทึกหรือกำหนดไว้ของค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) และค่าอุณหภูมิต่ำสุด (TL) ตลอดย่านอุณหภูมิที่วัดได้ โดยจะใช้พื้นที่รีจิสเตอร์ 8 บิต สำหรับการทำงานนี้ใน MSB ของ TH หรือ TL ที่ตรงกันก็จะถูกส่งไปยัง SB ของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 16 บิต ถ้าผลของการวัดอุณหภูมิมีสค่าสูงเกินกว่า TH หรือต่ำกว่า TL ลำดับสัญญาณเตือนภายในอุปกรณ์ก็จะถูกเซต ซึ่งลำดับของสัญญาณเตือนนี้จะถูกอัปเดตทุกครั้งที่มีการวัดค่าอุณหภูมิ เมื่อลำดับสัญญาณเตือนถูกเซต DS1820 จะมีการตอบสนองนำไปสู่การค้นหาสัญญาณเตือนการสั่งการและจะยอมให้ทำการต่อ DS1820 ในลักษณะขนานกันหลายตัวได้เพื่อทำการจำลองการวัดค่าอุณหภูมิแล้วนำมาเฉลี่ยค่าของการวัดในครั้งนั้นอีกขั้นตอนหนึ่ง

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุต

ค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ดิจิตอลเอาต์พุต (Binary)	ดิจิตอลเอาต์พุต (Hex)
+125	00000000 11111010	00FA
+25	00000000 00110010	0032h
+0.5	00000000 00000001	0001h
+0	00000000 00000000	0000h
-0.5	11111111 11111111	FFFFh
-25	11111111 11001110	FFCEh
-55	11111111 10010010	FF92h

2.3.5 บิทเลเซอร์รวม

ใน DS1820 นั้นจะประกอบด้วยส่วนของรหัสหน่วยความจำรวมที่มีความยาวถึง 64 บิตโดยใน 8 บิตแรกจะเป็นรหัสระบุตระกูล (family code) 1 – Wire ของ DS1820 (DS1820 มีรหัสเป็น 10h) และอีก 48 บิตต่อมาเป็นส่วนระบุอนุกรมตัวเลข (serial number) และอีก 8 บิตสุดท้ายคือส่วนบันทึก CRC ของ 56 บิตแรก หน่วยความจำรวมขนาด 64 บิต และส่วนควบคุมฟังก์ชันรวมนี้จะยอมให้ DS1820 สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบ 1 – Wire ได้ และมีรายละเอียดตามโปรโตคอลของระบบบัส 1 – Wire ซึ่งฟังก์ชันและส่วนควบคุมต่างๆใน DS1820 จะยังไม่สามารถทำงานหรือเข้าถึงได้จนกว่าจะมีการเซตอัฟโปรโตคอลฟังก์ชันในหน่วยความจำรวมเสียก่อน โดยในการอินเตอร์เฟสในส่วนหลักของฟังก์ชันการสั่งการในหน่วยความจำรวมจะต้องมีลำดับฟังก์ชันดังนี้คือ

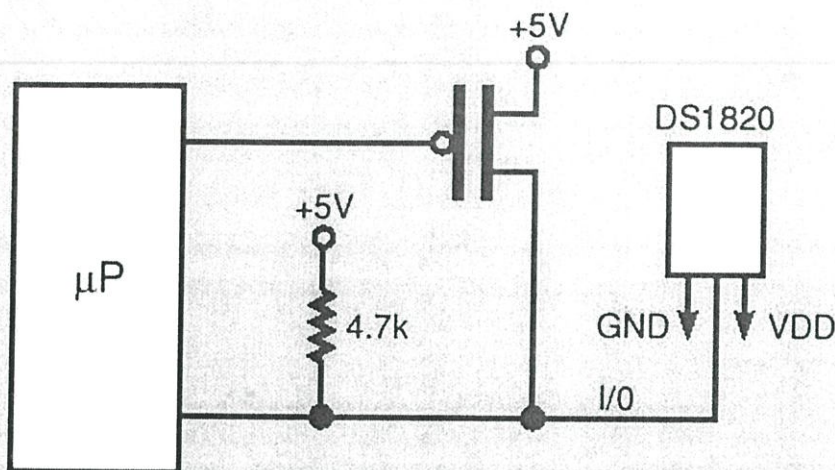
- 1) การอ่านหน่วยความจำรวม
- 2) ทำการแมตซ์รวม
- 3) ค้นหารวม
- 4) กระโดดข้ามรวม
- 5) เตือนการค้นหา

หลังจากที่มีการเซตลำดับฟังก์ชันรวมดังข้างต้นเสร็จแล้ว ฟังก์ชันต่างๆ ของ DS1820 ก็จะสามารถเข้าถึงได้

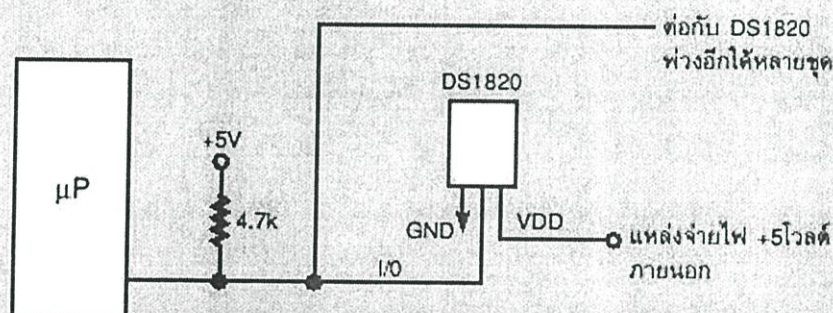
2.3.6 การต่อแหล่งจ่ายไฟ

ในรูปที่ 2.10 เป็นการต่อ DS1820 ร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อการควบคุมจากระยะไกล จะ สังเกตเห็นว่าที่ขารับไฟเลี้ยง VDD ของ DS1820 นั้นจะต่อกับกราวด์ แต่จะได้รับไฟเลี้ยงมาจากขา I / O ข้อมูลในแบบ 1 – Wire จากระบบควบคุมหลักไมโครโปรเซสเซอร์แทน ซึ่งวิธีนี้จะใช้สำหรับการควบคุมจากระยะไกลและไม่ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้กับ DS1820 ให้ยุ่งยากเพราะในการอินเตอร์เฟสแบบ 1 – wire นี้สามารถที่จะทำการกำหนดการทำงาน (power on) ของไอซีให้จ่ายไฟเลี้ยงวงจรภายในตัวไอซี แทน ส่วนในรูปที่ 2.11 เป็นการจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้กับ DS1820 ณ จุดที่ติดตั้งใช้งาน และการสั่งการจากไมโครโปรเซสเซอร์ยังทำงานได้เหมือนเดิมและสามารถที่จะต่อ DS1820 ขนานกันโดยใช้การอินเตอร์เฟสผ่านบัส 1 – Wire เดียวกัน

ได้หลายตัว จึงเหมาะกับการตรวจวัดอุณหภูมิหลายจุดที่ควบคุมได้จากระยะไกลผ่านระบบไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 2.9 แสดงการจัดการแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS1820 ใน 1 - wire

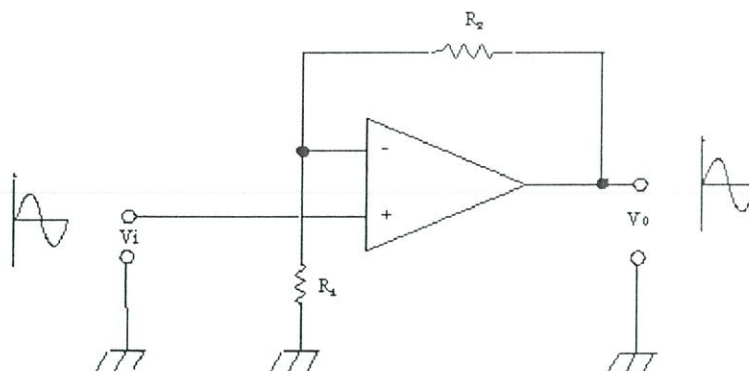


รูปที่ 2.10 แสดงการจัดการแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเตอร์เฟสร่วมของ DS1820 หลายตัวบนบัส 1 - wire

2.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

วงจรรขยายนี้เป็นวงจรรขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายเป็นเฟสเดียวกัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณอินพุตจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินพุตไม่กลับเฟส (+) ซึ่งเมื่อขยายออกที่เอาต์พุตแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสเหมือนเดิม ดังรูปที่ 2.12 ดังนั้นในวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้การป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายจึงยังคงต้องป้อนไปยังขาอินเวอร์ตติ้ง (-) เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันภายในตัวโอซีโอปแอมป์ โดยสามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จากสูตร

$$AV = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (1.2)$$



รูปที่ 2.12 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส

2.5 จอแสดงผลแบบ LCD

จอแสดงผลแบบ LCD (Liquid Crystal Display) จัดเป็นจอแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งจอแสดงผลแบบ LCD นี้มีทั้งแบบที่แสดงผลเป็นอักขระเพียงอย่างเดียว (Character LCD) และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์อื่นๆ ตามความต้องการได้ (หน้าจอกกราฟิก LCD) โดยจอแสดงผลแบบ LCD ที่พบเห็นกันโดยทั่วไปในชีวิตประจำวันนี้อาจมีอยู่หลายแบบ บางชนิดก็เป็นแบบที่มีการสั่งผลิตขึ้นเฉพาะงาน โดยมีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะ เช่น จอแสดงผล LCD ที่นำไปใช้ในนาฬิกาข้อมือแบบดิจิตอล เครื่องเล่นเกม เครื่องคิดเลข หรือหน้าปัดวิทยุแบบต่างๆ เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Dot-Matrix LCD ที่มีวางจำหน่ายกันทั่วไป ไปที่สามารถซื้อหามาใช้งานกันได้ง่าย โดยที่พบเห็นกันทั่วไปได้แก่ขนาด 16 ตัวอักษรไปจนถึง 40 ตัวอักษร และมีจำนวนบรรทัดตั้งแต่ 1 บรรทัดไปจนถึง 4 บรรทัด (หรืออาจมากกว่านั้น) โดยจอแสดงผล LCD เหล่านี้อาจมีหลายผู้ผลิต แต่ส่วนมากแล้วจะมีโครงสร้างการทำงานและชุดคำสั่งที่เหมือนกันเกือบทุกประการ อาจมีแตกต่างกันบ้างในเรื่องของความเร็วในการอ่าน/เขียน (Access Time)

2.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูลของจอแสดงผล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนดังนี้

- ตัวแสดงผล (display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD
- ตัวควบคุม (controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูลจอ LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิพควบคุมโดยเฉพาะ ชิพที่นิยมใช้คือเบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 ใช้ควบคุมจอ LCD แบบอักขระ ส่วน HD61830 ใช้ควบคุมจอ LCD กราฟิก
- ตัวขับ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนดชิพที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H, MSM5259 เป็นต้น

ผู้ใช้งานไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงให้กับจอ LCD ค้างไว้ตลอดเวลาเพื่อให้จอ LCD แสดงผลตามที่ต้องการได้เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นและจะทำให้อายุการใช้งานจอ LCD สั้นลง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องป้อนสัญญาณสลับระหว่างปิดกับเปิด (SCAN) ด้วยความถี่ไม่น้อยกว่า 30 เฮิร์ตซ์ เพื่อไม่ให้หน้าจอกระพริบจอ LCD โดยทั่วไปจะเป็นแบบที่มีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวอยู่แล้ว ผู้ใช้งานเพียงส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD ให้กับตัวควบคุมว่าต้องการใช้ทำงานอย่างไร ซึ่งส่วนใหญ่แล้วตัวควบคุมจะมีสัญญาณในการเชื่อมต่อระหว่างจอ LCD กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้

- 1) ขา 1 GND เป็นกราวด์ ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอ LCD
- 2) ขา 2 VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ต้องป้อนให้กับจอ LCD มีขนาดไฟกระแสตรง 5 โวลต์
- 3) ขา 3 VO เป็นขาสำหรับปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
- 4) ขา 4 RS ใช้สำหรับบอกให้ตัวควบคุมจอ LCD ทราบว่าโค้ด ที่ส่งให้ทางขา ข้อมูล เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 5) ขา 5 R/W ใช้สำหรับกำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับตัวควบคุมจอ LCD
- 6) ขา 6 E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับตัวควบคุมจอ LCD
- 7) ขา 7 ถึง 14 DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณข้อมูล ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูลคำสั่ง กับตัวควบคุมจอ LCD

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

การออกแบบเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลคำสั่งและแสดงผลออกทางจอ LCD ทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 ตัวและนำค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปประมวลผลร่วมกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากสายเทอร์โมคัปเปิล ผ่านวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการออกแบบได้ดังต่อไปนี้

3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

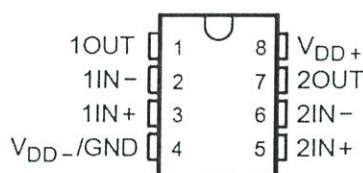
ในการออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิจะใช้ไอซีเบอร์ DS1820 ซึ่งเป็นไอซี วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล DS1820 ดังรูปที่ 3.1 จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบดิจิตอล และยังสามารถที่จะทำการโปรแกรมเข้าไปยังหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันภายในไอซีได้ ซึ่งมีหน่วยความจำรวมภายในขนาด 64 บิต แบบเลเซอร์รอม ดังนั้นจึงสามารถที่จะทำการอ่านและเขียนข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับหน้าที่การทำงานในการตรวจวัดอุณหภูมิได้หลากหลาย ตามการประมวลผลของไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถติดตั้ง DS1820 เพื่อการตรวจวัดอุณหภูมิได้ในหลายลักษณะ หลายสถานที่ และตำแหน่งการติดตั้งที่มีความแตกต่างอย่างมากกับอุปกรณ์ต่างๆไปไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งภายในอาคาร อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งขาของ DS1820

3.3 วงจรขยายสัญญาณแรงดัน

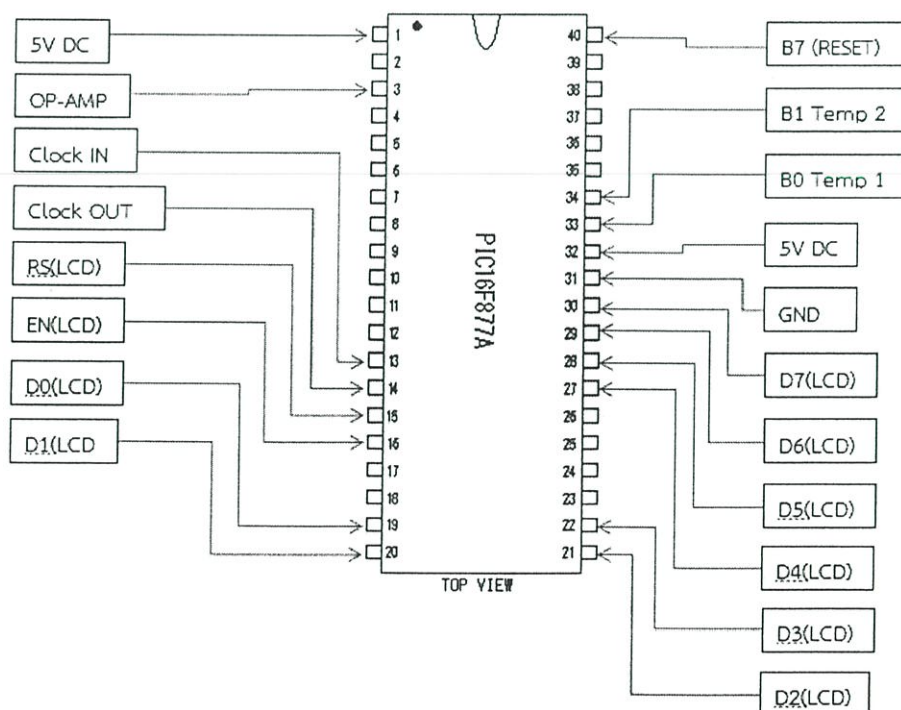
ในการออกแบบวงจรขยายแรงดันจะใช้โอปแอมป์เบอร์ TLC2272CP ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดันที่ได้จากสายเทอร์โมคัปเปิล เนื่องจากแรงดันที่ได้จากสายเทอร์โมคัปเปิลมีขนาดน้อยมาก โดยใช้อัตราขยายที่ 3333 เท่า การออกแบบวงจรมีทำโดยต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับวงจรขยายที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และที่เอาต์พุตของวงจรมีจะต่อเข้ากับวงจร Analog to Digital ขนาด 10 บิตของ PIC16F877A



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งขาของ TLC2272CP

3.4 การออกแบบส่วนประมวลผลกลาง

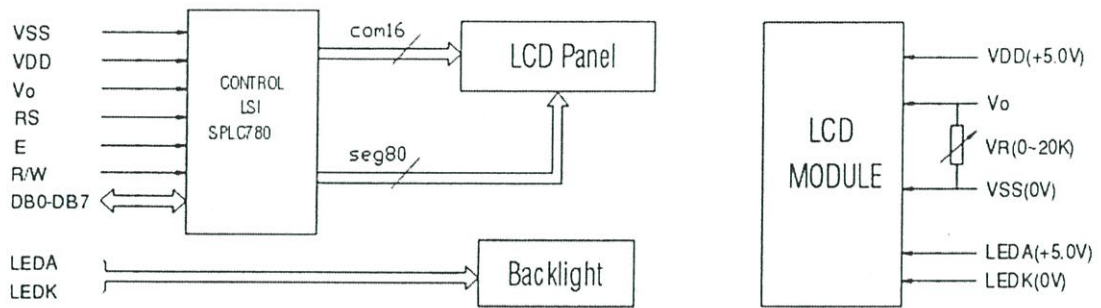
การออกแบบส่วนประมวลผลกลางนั้น จะทำการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ซึ่ง PIC เบอร์นี้มีวงจร Analog to Digital ขนาด 10 บิต ในตัวทำให้สามารถรับค่าจากวงจรขยายแรงดันและประมวลผลแล้วแสดงผลทางหน้าจอ LCD โดยขา 1 ต่อไฟ 5V DC ขา 3 ต่อกับวงจรขยายขา 13,14 ต่อกับตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาขา 15,16,19-22,27-30 ใช้งานกับจอ LCD ขา 31 ต่อกราวขา 32 ต่อไฟ 5V DC ขา 33 ต่อกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ 1 (วัดข้าวเย็น) ขา 34 ต่อกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ 2 (วัดข้าวร้อน) ขา 40 ต่อกับสวิทช์ Reset



รูปที่ 3.3 ลักษณะการต่อใช้งาน PIC16F877A

3.5 หน้าจอแสดงผลแบบ LCD

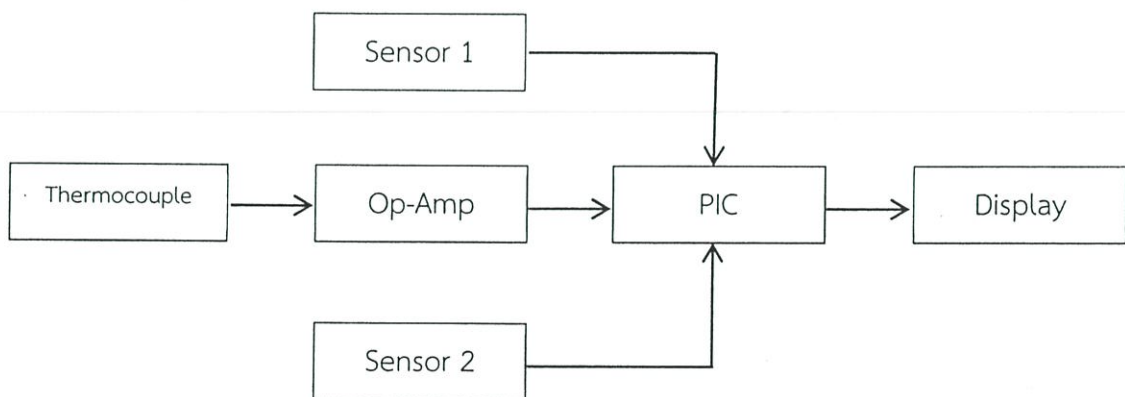
ในโครงการนี้ได้เลือกใช้จอแสดงผล LCD รุ่น ABC016002A07-GHY แสดงตัวอักษรภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างมากสำหรับการใช้แสดงผลเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมในหลายๆ ด้าน เช่น การใช้กระแสต่ำไม่เปลืองพื้นที่ ROM ในไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากไม่ต้องเก็บข้อมูลของตัวอักษร สามารถสั่งแสดงตัวอักษรได้โดยอ้างอิงจากรหัสแอสกีและมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของ ABC016002A07-GHY

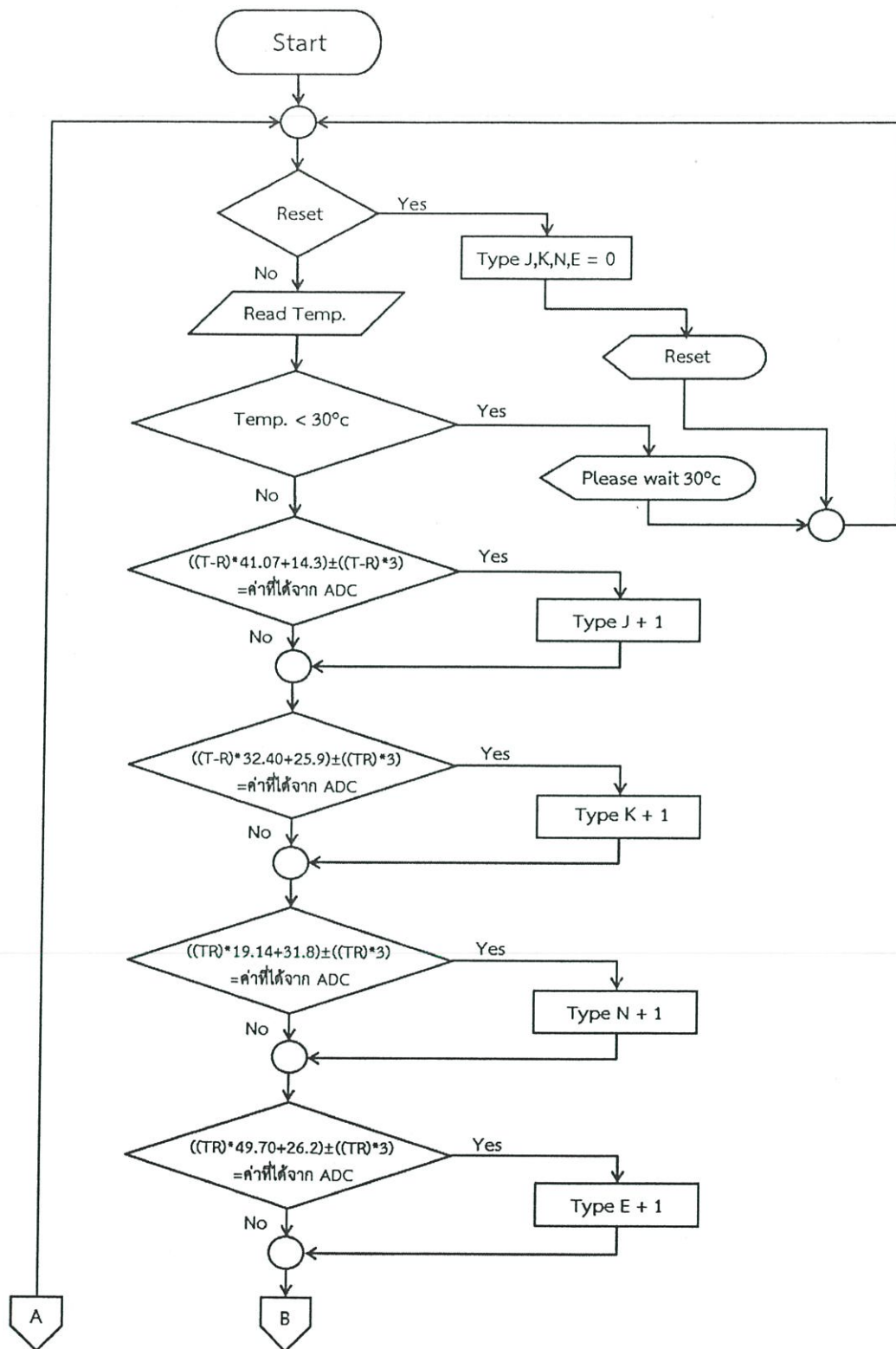
3.6 ภาพรวมการออกแบบและควบคุม

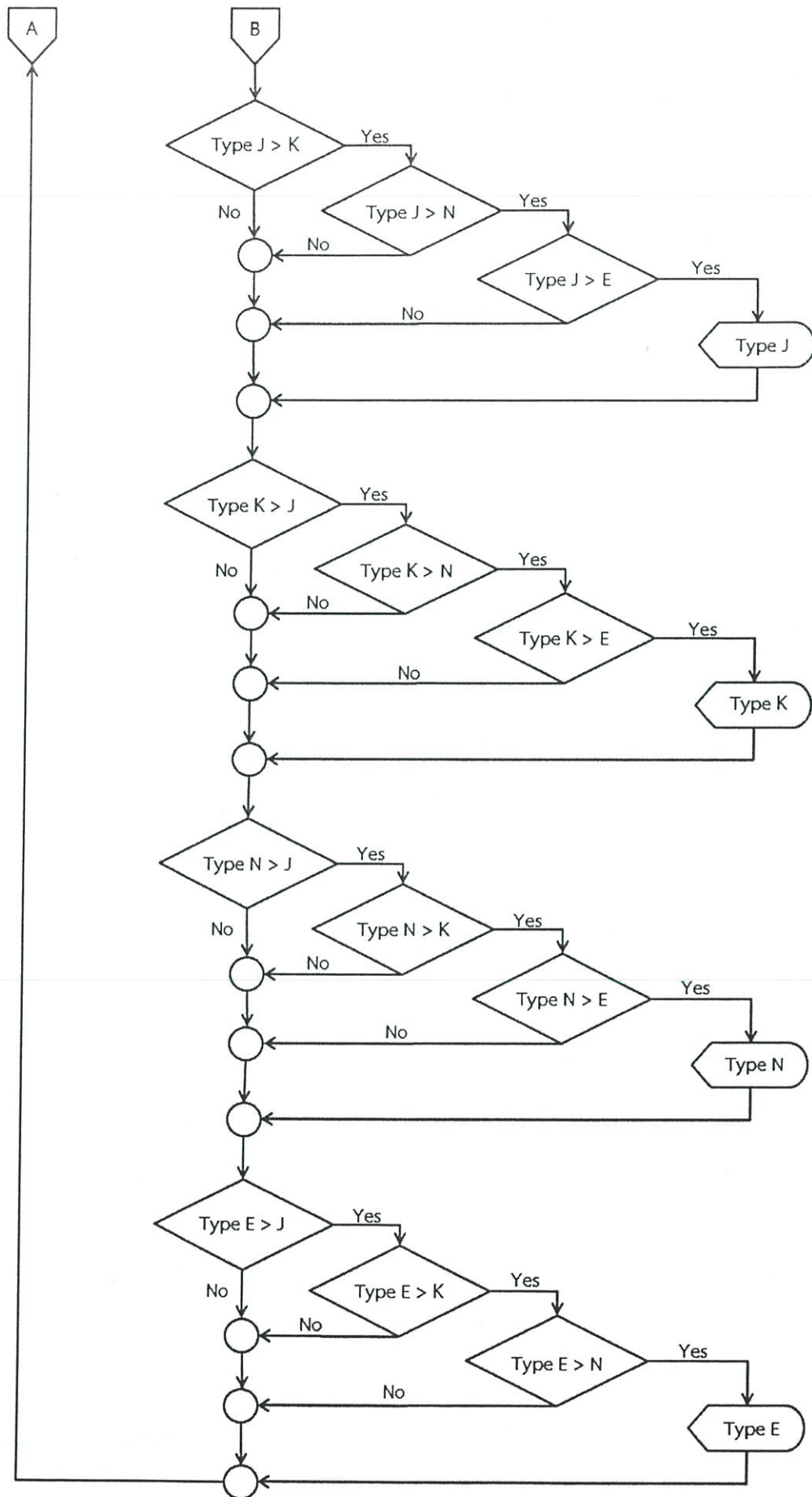
จากรูปที่ 3.5 แสดงภาพรวมการออกแบบและควบคุมของเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล โดยมีเทอร์โมคัปเปิล เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิห้อง และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ปลายของเทอร์โมคัปเปิล จากเทอร์โมคัปเปิลรับสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรขยาย (Op-Amp) เพื่อขยายสัญญาณ ผ่านส่วนประมวลผลกลาง (PIC) และแสดงผลออกหน้าจอ LCD



รูปที่ 3.5 ภาพรวมการออกแบบและควบคุม

3.7 แผนผังลำดับงานของเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล





บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

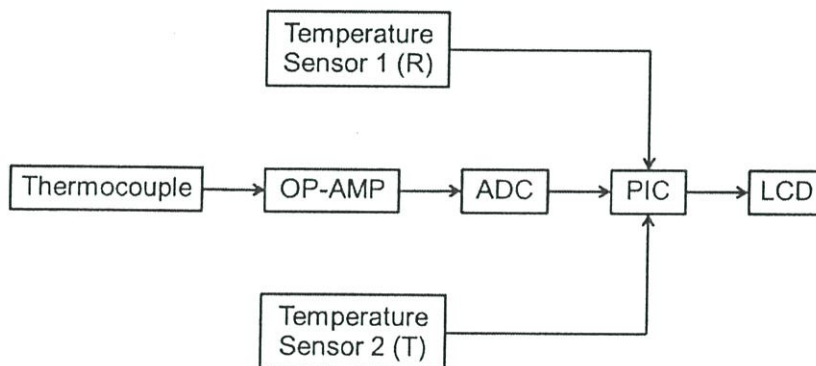
ในการทดลองเรื่องของเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลนั้น เป็นการทดลองเรื่องของการหาค่าจูนเนอร์และการหาค่าที่จำเป็นในการแทนค่าสมการ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาชนิดของเทอร์โมคัปเปิล โดยในการทดลองจะทำที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาค่าจูนเนอร์และใช้อุณหภูมิของร่างกายในการหาค่าที่ได้จากวงจร Analog to Digital

4.2 การทดลองและผลการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อหาค่าต่างๆที่ใช้แทนค่าลงในสมการที่ได้เตรียมไว้

4.2.1 การทดลองหาค่าจูนเนอร์และค่าที่จำเป็น

การทดลองเพื่อหาค่าผิดพลาดถาวรของวงจรขยายและการหาค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิ โดยการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบวงจรที่ทำการทดลองหาจูนเนอร์

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาค่าที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณโดยจะทำการทดลองในแต่ละชนิดของเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 10 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J

ครั้งที่	R	T	(T-R)	ADC	Tuner	Temp.	ADC/1°C
1	27.5	34.5	7	268	15	26	36.14
2	27.5	34.5	7	287	15	27.5	38.86
3	27.5	34	6.5	271	15	27.5	39.38
4	27.5	34	6.5	269	7	27.5	40.31
5	27.5	33	5.5	257	7	27	45.45
6	27	30	3	159	15	24.5	48
7	26.5	32.5	5.5	254	24	25.5	41.82
8	27	33	6	255	15	27	40
9	27	34	7	285	15	27	38.57
10	27.5	33.5	6	268	15	26.5	42.17
				เฉลี่ย	14.3		41.07

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ครั้งที่	R	T	(T-R)	ADC	Tuner	Temp.	ADC/1°C
1	26.5	32	5.5	195	28	25.5	30.36
2	26.5	34	8.5	255	31	26	26.35
3	26.5	34	8.5	271	28	26	28.59
4	27	33.5	6.5	242	31	26	32.46
5	27	33.5	6.5	240	15	25.5	34.61
6	27	32.5	5.5	224	15	25	38
7	27.5	33.5	6	234	31	27	33.83
8	27.5	33.5	6	231	25	26.5	33.23
9	27.5	34	6.5	240	24	27.5	33.23
10	27.5	34	6.5	248	31	27	33.38
				เฉลี่ย	25.9		32.40

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด E

ครั้งที่	R	T	(T-R)	ADC	Tuner	Temp.	ADC/1°C
1	26.5	34	7.5	322	31	25	38.8
2	26.5	34	7.5	386	31	27	47.33
3	27	35	8	385	31	26.5	44.25
4	27	33	6	309	15	26.5	49
5	27	33.5	6.5	351	24	26.5	50.31
6	27	32.5	5.5	334	15	25.5	58
7	26.5	33	6.5	384	30	25	56.77
8	27	34	7	384	30	26.5	50.57
9	27	33	6	361	24	26	56.17
10	27.5	34.5	7	352	31	27.5	45.86
				เฉลี่ย	26.2		49.70

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด N

ครั้งที่	R	T	(T-R)	ADC	Tuner	Temp.	ADC/1°C
1	27.5	34	6.5	159	31	27.5	19.69
2	26	34	8	192	31	25.5	20.12
3	26	33	7	159	39	25	17.14
4	26	33	7	159	31	25	18.28
5	26	34.5	8.5	192	31	26	18.94
6	26	34.5	8.5	192	31	26.5	18.94
7	26	32.5	6.5	143	31	26.5	17.23
8	26.5	33	6.5	159	31	26.5	19.69
9	26.5	32	5.5	158	31	26	23.09
10	26.5	33.5	7	159	31	26.5	18.28
				เฉลี่ย	31.8		19.14

4.2.2 การทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำในการทำงานของเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

ในการทดลองจะทำการทดสอบเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยการนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J,K,E,N ต่อเข้ากับเครื่อง จากนั้นจับเทอร์โมคัปเปิลกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ 1 เข้าด้วยกัน และนำดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ 2 วัดอุณหภูมิที่ขั้วเย็นของเทอร์โมคัปเปิล จากนั้นกดปุ่มรีเซ็ตค้างไว้จนหน้าจอแสดง “!! Reset !!” รอจนอุณหภูมิที่แสดงที่หน้าจอคงที่ แล้วบันทึกอุณหภูมิและชนิดของเทอร์โมคัปเปิลลงตาราง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J

ครั้งที่	R	T	ชนิดที่แสดง
1	27	34	J
2	27	33.5	J
3	27	34	J
4	27	34	J
5	27	34	J
6	27	34.5	J
7	27	32.5	J
8	27.5	35	J
9	27.5	33.5	J
10	27.5	33.5	J

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ครั้งที่	R	T	ชนิดที่แสดง
1	27.5	33	K
2	27	31	K
3	27	30.5	K
4	27	30	K
5	27	30	K
6	27	31	K
7	27	30.5	K
8	27	30.5	K
9	27	30.5	K
10	27.5	30.5	K

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด E

ครั้งที่	R	T	ชนิดที่แสดง
1	27.5	32	E
2	27.5	32.5	E
3	27.5	33	E
4	27.5	33	E
5	27.5	32	E
6	27	31	E
7	27	33	E
8	27.5	32	E
9	27.5	32	E
10	27	34	E

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด N

ครั้งที่	R	T	ชนิดที่แสดง
1	27.5	30	N
2	27.5	31	N
3	27.5	31	N
4	27.5	31.5	N
5	27.5	30.5	N
6	27.5	31.5	N
7	27.5	31.5	N
8	27.5	31.5	N
9	27.5	31.5	N
10	27.5	31	N

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองของโครงการเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลพบว่า ได้ค่าจูนเนอร์ของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J,K,N และ E เป็น 14.3 25.9 31.8 26.2 และได้ค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหนึ่งหน่วยของค่าเซลเซียสของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J,K,N และ E เป็น 41.07 32.40 19.14 47.70 จากนั้นนำค่าที่ได้มาใส่ในโปรแกรมและทำการทดสอบความแม่นยำของเครื่อง พบว่าหลังจากทำการทดสอบเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆมีความแม่นยำ 100%

5.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้สร้างขึ้นมานี้ ใช้หลักการและทฤษฎีของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลที่จะแตกต่างกันในแต่ละชนิดและแตกต่างทางอุณหภูมิ โดยได้นำหลักการนี้มาพัฒนาเครื่องทดสอบชนิดของเทอร์โมคัปเปิล เพื่อให้สามารถระบุชนิดของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงอุณหภูมิต่ำได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยจะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 จุดด้วยกัน จุดที่ 1 คือ วัดอุณหภูมิอ้างอิงซึ่งในที่นี้คืออุณหภูมิห้อง จุดที่ 2 วัดอุณหภูมิของจุดรอยต่อร้อนของเทอร์โมคัปเปิล ในที่นี้จะใช้อุณหภูมิของร่างกายเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งมีข้อเสียที่อุณหภูมิจะไม่เสถียร หลังจากนั้นนำค่าอุณหภูมิทั้ง 2 ค่าที่ได้มาลบกันจึงจะได้อุณหภูมิแตกต่าง โดยจะนำอุณหภูมิแตกต่างนั้นไปคำนวณหา อุณหภูมิแตกต่างจะได้แรงดันออกมาแล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล และนำค่าทั้งหมดมาเข้าสมการในโปรแกรมประมวลผลโดย PIC16F877A เป็นหน่วยประมวลผลและแสดงออกทางจอ LCD หากต้องการให้ผลที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น ควรมีแหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิต่ำที่มากกว่าการจับด้วยมือ และอุณหภูมิอ้างอิงที่คงที่ จึงเป็นข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

บรรณานุกรม

Robin E. Bentley 1998. Handbook of temperature Measurement Volume 1.
Australia : Springer

Robin E. Bentley 1998. Handbook of temperature Measurement Volume 2.
Australia : Springer

Robin E. Bentley 1998. Handbook of temperature Measurement Volume 3.
Australia : Springer

J.A.HALL 1966. The Measurement of Temperature. London : Chapman and Hall

Thomus D. McGee 1988. Principles and Methodes of Temperature Measurement.
London : John Wiley & Sons

รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ 2549. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดบุ๊ค

เว็บไซต์นิสิตมหาวิทยาลัยนเรศวร 2550. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple). [Online]
Available : <http://student.nu.ac.th/electronic/00008.doc>

Pyromation Inc. Temperature Vs. Electromotive Force (EMF) Table. [Online]
Available : <http://www.pyromation.com/Downloads/Data/temperature-tables.pdf>

วิทยาลัยสารพัดช่างอุดรธานี 2548. วิชาช่างไมโครคอนโทรลเลอร์. [Online]
Available : www.sunthana.com/microcontroller.pdf

Mindtek Electronic ตรวจสอบอุณหภูมิ ด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ DS18B20. [Online]
Available : <http://www.mind-tek.net/ds18b20.php>

ภาคผนวก (ก)
ตัวอย่างโปรแกรมการคำนวณ

```
1 void main(void)
2 {
3     init_a2d();
4     initial_lcd();
5     TRISB7 = 1;
6     while(1)
7     {
8         while(RB7 == 0)
9         {
10            delay_ms(10);
11            while(RB7 == 0)
12            {
13                addr_lcd_xy(1,2);
14                sprintf(buffer,"  Reset!  ");
15                string_lcd(buffer);
16                J = 0;
17                N = 0;
18                K = 0;
19                E = 0;
20            }
21        }
22        readtemp();
23        if((flag1 == 0) && (flag2 == 0))
24        {
25            addr_lcd_xy(1,1);
26            sprintf(buffer1,"R[%2u.0] T[%2u.0] ",temp_f[0],temp_f[1]);
27            string_lcd(buffer1);
28        }
29        if((flag1 == 1) && (flag2 == 0))
30        {
31            addr_lcd_xy(1,1);
32            sprintf(buffer1,"R[%2u.5] T[%2u.0] ",temp_f[0],temp_f[1]);
33            string_lcd(buffer1);
34        }
35        if((flag1 == 0) && (flag2 == 1))
36        {
37            addr_lcd_xy(1,1);
38            sprintf(buffer1,"R[%2u.0] T[%2u.5] ",temp_f[0],temp_f[1]);
```

```

40     string_lcd(buffer1);
41     }
42     if((flag1 == 1) && (flag2 == 1))
43     {
44         addr_lcd_xy(1,1);
45         sprintf(buffer1,"R[%2u.5] T[%2u.5] ",temp_f[0],temp_f[1]);
46         string_lcd(buffer1);
47     }
48     data_a = 0;
49     for(int i = 0; i < 40 ; i++)
50     {
51         data_a += read_a2d(1);
52     }
53     data_a /= 40;
54     if(temp_f[1] < 30)
55     {
56         addr_lcd_xy(1,2);
57         sprintf(buffer1," WAIT FOR 30'C ");
58         string_lcd(buffer1);
59     }
60     else
61     {
62
63         data_a = read_a2d(1);
64         if((data_a >= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 41.07)+15) - ((temp_t[1]-
65         temp_t[0])*2.5)) && (data_a <= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 43.5)+tuner) +
66         ((temp_t[1]-temp_t[0])*3)))
67             {
68                 J++;
69             }
70         if((data_a >= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 32.4)+28) - ((temp_t[1]-
71         temp_t[0])*2.5)) && (data_a <= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 38.25)+tuner)
72         + ((temp_t[1]-temp_t[0])*3)))
73             {
74                 K++;
75             }
76         if((data_a >= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 19.34)+31) - ((temp_t[1]-
77         temp_t[0])*2.5)) && (data_a <= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 23.75)+tuner)
78         + ((temp_t[1]-temp_t[0])*3)))

```

```

79         {
80             N++;
81         }
82     if((data_a >= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 49.9)+31) - ((temp_t[1]-
83     temp_t[0])*2.5)) && (data_a <= (((temp_t[1]-temp_t[0]) * 59.75)+tuner)
84     + ((temp_t[1]-temp_t[0])*3)))
85         {
86             E++;
87         }
88     if((J > E) && (J > N) && (J > K))
89         {
90             addr_lcd_xy(1,2);
91             sprintf(buffer,"!!! J TYPE !!!");
92             string_lcd(buffer);
93         }
94     if((K > J) && (K > N) && (K > E))
95         {
96             addr_lcd_xy(1,2);
97             sprintf(buffer,"!!! K TYPE !!!");
98             string_lcd(buffer);
99         }
100    if((N > E) && (N > J) && (N > K))
101        {
102            addr_lcd_xy(1,2);
103            sprintf(buffer,"!!! N TYPE !!!");
104            string_lcd(buffer);
105        }
106    if((E > J) && (E > N) && (E > K))
107        {
108            addr_lcd_xy(1,2);
109            sprintf(buffer,"!!! E TYPE !!!");
110            string_lcd(buffer);
111        }
112    }
113    delay_ms(1000);
114    }
115    }

```

ภาคผนวก (ข)

Temperature Vs. Electromotive Force (EMF) Table

TABLE 3 *Type B Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
0	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	0
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	10
20	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	20
30	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	30
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	40
50	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	50
60	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011	60
70	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.014	0.015	0.015	0.016	0.017	0.017	70
80	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023	0.024	0.025	80
90	0.025	0.026	0.026	0.027	0.028	0.029	0.030	0.031	0.031	0.032	0.033	90
100	0.033	0.034	0.035	0.036	0.037	0.038	0.039	0.040	0.041	0.042	0.043	100
110	0.043	0.044	0.045	0.046	0.047	0.048	0.049	0.050	0.051	0.052	0.053	110
120	0.053	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.062	0.063	0.064	0.065	120
130	0.065	0.066	0.068	0.069	0.070	0.072	0.073	0.074	0.075	0.077	0.078	130
140	0.078	0.079	0.081	0.082	0.084	0.085	0.086	0.088	0.089	0.091	0.092	140
150	0.092	0.094	0.095	0.096	0.098	0.099	0.101	0.102	0.104	0.106	0.107	150
160	0.107	0.109	0.110	0.112	0.113	0.115	0.117	0.118	0.120	0.122	0.123	160
170	0.123	0.125	0.127	0.128	0.130	0.132	0.134	0.135	0.137	0.139	0.141	170
180	0.141	0.142	0.144	0.146	0.148	0.150	0.151	0.153	0.155	0.157	0.159	180
190	0.159	0.161	0.163	0.165	0.166	0.168	0.170	0.172	0.174	0.176	0.178	190
200	0.178	0.180	0.182	0.184	0.186	0.188	0.190	0.192	0.195	0.197	0.199	200
210	0.199	0.201	0.203	0.205	0.207	0.209	0.212	0.214	0.216	0.218	0.220	210
220	0.220	0.222	0.225	0.227	0.229	0.231	0.234	0.236	0.238	0.241	0.243	220
230	0.243	0.245	0.248	0.250	0.252	0.255	0.257	0.259	0.262	0.264	0.267	230
240	0.267	0.269	0.271	0.274	0.276	0.279	0.281	0.284	0.286	0.289	0.291	240
250	0.291	0.294	0.296	0.299	0.301	0.304	0.307	0.309	0.312	0.314	0.317	250
260	0.317	0.320	0.322	0.325	0.328	0.330	0.333	0.336	0.338	0.341	0.344	260
270	0.344	0.347	0.349	0.352	0.355	0.358	0.360	0.363	0.366	0.369	0.372	270
280	0.372	0.375	0.377	0.380	0.383	0.386	0.389	0.392	0.395	0.398	0.401	280
290	0.401	0.404	0.407	0.410	0.413	0.416	0.419	0.422	0.425	0.428	0.431	290
300	0.431	0.434	0.437	0.440	0.443	0.446	0.449	0.452	0.455	0.458	0.462	300
310	0.462	0.465	0.468	0.471	0.474	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.494	310
320	0.494	0.497	0.500	0.503	0.507	0.510	0.513	0.517	0.520	0.523	0.527	320
330	0.527	0.530	0.533	0.537	0.540	0.544	0.547	0.550	0.554	0.557	0.561	330
340	0.561	0.564	0.568	0.571	0.575	0.578	0.582	0.585	0.589	0.592	0.596	340
350	0.596	0.599	0.603	0.607	0.610	0.614	0.617	0.621	0.625	0.628	0.632	350
360	0.632	0.636	0.639	0.643	0.647	0.650	0.654	0.658	0.662	0.665	0.669	360
370	0.669	0.673	0.677	0.680	0.684	0.688	0.692	0.696	0.700	0.703	0.707	370
380	0.707	0.711	0.715	0.719	0.723	0.727	0.731	0.735	0.738	0.742	0.746	380
390	0.746	0.750	0.754	0.758	0.762	0.766	0.770	0.774	0.778	0.782	0.787	390
400	0.787	0.791	0.795	0.799	0.803	0.807	0.811	0.815	0.819	0.824	0.828	400
410	0.828	0.832	0.836	0.840	0.844	0.849	0.853	0.857	0.861	0.866	0.870	410
420	0.870	0.874	0.878	0.883	0.887	0.891	0.896	0.900	0.904	0.909	0.913	420
430	0.913	0.917	0.922	0.926	0.930	0.935	0.939	0.944	0.948	0.953	0.957	430
440	0.957	0.961	0.966	0.970	0.975	0.979	0.984	0.988	0.993	0.997	1.002	440
450	1.002	1.007	1.011	1.016	1.020	1.025	1.030	1.034	1.039	1.043	1.048	450
460	1.048	1.053	1.057	1.062	1.067	1.071	1.076	1.081	1.086	1.090	1.095	460
470	1.095	1.100	1.105	1.109	1.114	1.119	1.124	1.129	1.133	1.138	1.143	470
480	1.143	1.148	1.153	1.158	1.163	1.167	1.172	1.177	1.182	1.187	1.192	480
490	1.192	1.197	1.202	1.207	1.212	1.217	1.222	1.227	1.232	1.237	1.242	490

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

TABLE 3 *Type B Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
500	1.242	1.247	1.252	1.257	1.262	1.267	1.272	1.277	1.282	1.288	1.293	500
510	1.293	1.298	1.303	1.308	1.313	1.318	1.324	1.329	1.334	1.339	1.344	510
520	1.344	1.350	1.355	1.360	1.365	1.371	1.376	1.381	1.387	1.392	1.397	520
530	1.397	1.402	1.408	1.413	1.418	1.424	1.429	1.435	1.440	1.445	1.451	530
540	1.451	1.456	1.462	1.467	1.472	1.478	1.483	1.489	1.494	1.500	1.505	540
550	1.505	1.511	1.516	1.522	1.527	1.533	1.539	1.544	1.550	1.555	1.561	550
560	1.561	1.566	1.572	1.578	1.583	1.589	1.595	1.600	1.606	1.612	1.617	560
570	1.617	1.623	1.629	1.634	1.640	1.646	1.652	1.657	1.663	1.669	1.675	570
580	1.675	1.680	1.686	1.692	1.698	1.704	1.709	1.715	1.721	1.727	1.733	580
590	1.733	1.739	1.745	1.750	1.756	1.762	1.768	1.774	1.780	1.786	1.792	590
600	1.792	1.798	1.804	1.810	1.816	1.822	1.828	1.834	1.840	1.846	1.852	600
610	1.852	1.858	1.864	1.870	1.876	1.882	1.888	1.894	1.901	1.907	1.913	610
620	1.913	1.919	1.925	1.931	1.937	1.944	1.950	1.956	1.962	1.968	1.975	620
630	1.975	1.981	1.987	1.993	1.999	2.006	2.012	2.018	2.025	2.031	2.037	630
640	2.037	2.043	2.050	2.056	2.062	2.069	2.075	2.082	2.088	2.094	2.101	640
650	2.101	2.107	2.113	2.120	2.126	2.133	2.139	2.146	2.152	2.158	2.165	650
660	2.165	2.171	2.178	2.184	2.191	2.197	2.204	2.210	2.217	2.224	2.230	660
670	2.230	2.237	2.243	2.250	2.256	2.263	2.270	2.276	2.283	2.289	2.296	670
680	2.296	2.303	2.309	2.316	2.323	2.329	2.336	2.343	2.350	2.356	2.363	680
690	2.363	2.370	2.376	2.383	2.390	2.397	2.403	2.410	2.417	2.424	2.431	690
700	2.431	2.437	2.444	2.451	2.458	2.465	2.472	2.479	2.485	2.492	2.499	700
710	2.499	2.506	2.513	2.520	2.527	2.534	2.541	2.548	2.555	2.562	2.569	710
720	2.569	2.576	2.583	2.590	2.597	2.604	2.611	2.618	2.625	2.632	2.639	720
730	2.639	2.646	2.653	2.660	2.667	2.674	2.681	2.688	2.696	2.703	2.710	730
740	2.710	2.717	2.724	2.731	2.738	2.746	2.753	2.760	2.767	2.775	2.782	740
750	2.782	2.789	2.796	2.803	2.811	2.818	2.825	2.833	2.840	2.847	2.854	750
760	2.854	2.862	2.869	2.876	2.884	2.891	2.898	2.906	2.913	2.921	2.928	760
770	2.928	2.935	2.943	2.950	2.958	2.965	2.973	2.980	2.987	2.995	3.002	770
780	3.002	3.010	3.017	3.025	3.032	3.040	3.047	3.055	3.062	3.070	3.078	780
790	3.078	3.085	3.093	3.100	3.108	3.116	3.123	3.131	3.138	3.146	3.154	790
800	3.154	3.161	3.169	3.177	3.184	3.192	3.200	3.207	3.215	3.223	3.230	800
810	3.230	3.238	3.246	3.254	3.261	3.269	3.277	3.285	3.292	3.300	3.308	810
820	3.308	3.316	3.324	3.331	3.339	3.347	3.355	3.363	3.371	3.379	3.386	820
830	3.386	3.394	3.402	3.410	3.418	3.426	3.434	3.442	3.450	3.458	3.466	830
840	3.466	3.474	3.482	3.490	3.498	3.506	3.514	3.522	3.530	3.538	3.546	840
850	3.546	3.554	3.562	3.570	3.578	3.586	3.594	3.602	3.610	3.618	3.626	850
860	3.626	3.634	3.643	3.651	3.659	3.667	3.675	3.683	3.692	3.700	3.708	860
870	3.708	3.716	3.724	3.732	3.741	3.749	3.757	3.765	3.774	3.782	3.790	870
880	3.790	3.798	3.807	3.815	3.823	3.832	3.840	3.848	3.857	3.865	3.873	880
890	3.873	3.882	3.890	3.898	3.907	3.915	3.923	3.932	3.940	3.949	3.957	890
900	3.957	3.965	3.974	3.982	3.991	3.999	4.008	4.016	4.024	4.033	4.041	900
910	4.041	4.050	4.058	4.067	4.075	4.084	4.093	4.101	4.110	4.118	4.127	910
920	4.127	4.135	4.144	4.152	4.161	4.170	4.178	4.187	4.195	4.204	4.213	920
930	4.213	4.221	4.230	4.239	4.247	4.256	4.265	4.273	4.282	4.291	4.299	930
940	4.299	4.308	4.317	4.326	4.334	4.343	4.352	4.360	4.369	4.378	4.387	940
950	4.387	4.396	4.404	4.413	4.422	4.431	4.440	4.448	4.457	4.466	4.475	950
960	4.475	4.484	4.493	4.501	4.510	4.519	4.528	4.537	4.546	4.555	4.564	960
970	4.564	4.573	4.582	4.591	4.599	4.608	4.617	4.626	4.635	4.644	4.653	970
980	4.653	4.662	4.671	4.680	4.689	4.698	4.707	4.716	4.725	4.734	4.743	980
990	4.743	4.753	4.762	4.771	4.780	4.789	4.798	4.807	4.816	4.825	4.834	990
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 3 Type B Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1000	4.834	4.843	4.853	4.862	4.871	4.880	4.889	4.898	4.908	4.917	4.926	1000
1010	4.926	4.935	4.944	4.954	4.963	4.972	4.981	4.990	5.000	5.009	5.018	1010
1020	5.018	5.027	5.037	5.046	5.055	5.065	5.074	5.083	5.092	5.102	5.111	1020
1030	5.111	5.120	5.130	5.139	5.148	5.158	5.167	5.176	5.186	5.195	5.205	1030
1040	5.205	5.214	5.223	5.233	5.242	5.252	5.261	5.270	5.280	5.289	5.299	1040
1050	5.299	5.308	5.318	5.327	5.337	5.346	5.356	5.365	5.375	5.384	5.394	1050
1060	5.394	5.403	5.413	5.422	5.432	5.441	5.451	5.460	5.470	5.480	5.489	1060
1070	5.489	5.499	5.508	5.518	5.528	5.537	5.547	5.556	5.566	5.576	5.585	1070
1080	5.585	5.595	5.605	5.614	5.624	5.634	5.643	5.653	5.663	5.672	5.682	1080
1090	5.682	5.692	5.702	5.711	5.721	5.731	5.740	5.750	5.760	5.770	5.780	1090
1100	5.780	5.789	5.799	5.809	5.819	5.828	5.838	5.848	5.858	5.868	5.878	1100
1110	5.878	5.887	5.897	5.907	5.917	5.927	5.937	5.947	5.956	5.966	5.976	1110
1120	5.976	5.986	5.996	6.006	6.016	6.026	6.036	6.046	6.055	6.065	6.075	1120
1130	6.075	6.085	6.095	6.105	6.115	6.125	6.135	6.145	6.155	6.165	6.175	1130
1140	6.175	6.185	6.195	6.205	6.215	6.225	6.235	6.245	6.256	6.266	6.276	1140
1150	6.276	6.286	6.296	6.306	6.316	6.326	6.336	6.346	6.356	6.367	6.377	1150
1160	6.377	6.387	6.397	6.407	6.417	6.427	6.438	6.448	6.458	6.468	6.478	1160
1170	6.478	6.488	6.499	6.509	6.519	6.529	6.539	6.550	6.560	6.570	6.580	1170
1180	6.580	6.591	6.601	6.611	6.621	6.632	6.642	6.652	6.663	6.673	6.683	1180
1190	6.683	6.693	6.704	6.714	6.724	6.735	6.745	6.755	6.766	6.776	6.786	1190
1200	6.786	6.797	6.807	6.818	6.828	6.838	6.849	6.859	6.869	6.880	6.890	1200
1210	6.890	6.901	6.911	6.922	6.932	6.942	6.953	6.963	6.974	6.984	6.995	1210
1220	6.995	7.005	7.016	7.026	7.037	7.047	7.058	7.068	7.079	7.089	7.100	1220
1230	7.100	7.110	7.121	7.131	7.142	7.152	7.163	7.173	7.184	7.194	7.205	1230
1240	7.205	7.216	7.226	7.237	7.247	7.258	7.269	7.279	7.290	7.300	7.311	1240
1250	7.311	7.322	7.332	7.343	7.353	7.364	7.375	7.385	7.396	7.407	7.417	1250
1260	7.417	7.428	7.439	7.449	7.460	7.471	7.482	7.492	7.503	7.514	7.524	1260
1270	7.524	7.535	7.546	7.557	7.567	7.578	7.589	7.600	7.610	7.621	7.632	1270
1280	7.632	7.643	7.653	7.664	7.675	7.686	7.697	7.707	7.718	7.729	7.740	1280
1290	7.740	7.751	7.761	7.772	7.783	7.794	7.805	7.816	7.827	7.837	7.848	1290
1300	7.848	7.859	7.870	7.881	7.892	7.903	7.914	7.924	7.935	7.946	7.957	1300
1310	7.957	7.968	7.979	7.990	8.001	8.012	8.023	8.034	8.045	8.056	8.066	1310
1320	8.066	8.077	8.088	8.099	8.110	8.121	8.132	8.143	8.154	8.165	8.176	1320
1330	8.176	8.187	8.198	8.209	8.220	8.231	8.242	8.253	8.264	8.275	8.286	1330
1340	8.286	8.298	8.309	8.320	8.331	8.342	8.353	8.364	8.375	8.386	8.397	1340
1350	8.397	8.408	8.419	8.430	8.441	8.453	8.464	8.475	8.486	8.497	8.508	1350
1360	8.508	8.519	8.530	8.542	8.553	8.564	8.575	8.586	8.597	8.608	8.620	1360
1370	8.620	8.631	8.642	8.653	8.664	8.675	8.687	8.698	8.709	8.720	8.731	1370
1380	8.731	8.743	8.754	8.765	8.776	8.787	8.799	8.810	8.821	8.832	8.844	1380
1390	8.844	8.855	8.866	8.877	8.889	8.900	8.911	8.922	8.934	8.945	8.956	1390
1400	8.956	8.967	8.979	8.990	9.001	9.013	9.024	9.035	9.047	9.058	9.069	1400
1410	9.069	9.080	9.092	9.103	9.114	9.126	9.137	9.148	9.160	9.171	9.182	1410
1420	9.182	9.194	9.205	9.216	9.228	9.239	9.251	9.262	9.273	9.285	9.296	1420
1430	9.296	9.307	9.319	9.330	9.342	9.353	9.364	9.376	9.387	9.398	9.410	1430
1440	9.410	9.421	9.433	9.444	9.456	9.467	9.478	9.490	9.501	9.513	9.524	1440
1450	9.524	9.536	9.547	9.558	9.570	9.581	9.593	9.604	9.616	9.627	9.639	1450
1460	9.639	9.650	9.662	9.673	9.684	9.696	9.707	9.719	9.730	9.742	9.753	1460
1470	9.753	9.765	9.776	9.788	9.799	9.811	9.822	9.834	9.845	9.857	9.868	1470
1480	9.868	9.880	9.891	9.903	9.914	9.926	9.937	9.949	9.961	9.972	9.984	1480
1490	9.984	9.995	10.007	10.018	10.030	10.041	10.053	10.064	10.076	10.088	10.099	1490
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 3 *Type B Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1500	10.099	10.111	10.122	10.134	10.145	10.157	10.168	10.180	10.192	10.203	10.215	1500
1510	10.215	10.226	10.238	10.249	10.261	10.273	10.284	10.296	10.307	10.319	10.331	1510
1520	10.331	10.342	10.354	10.365	10.377	10.389	10.400	10.412	10.423	10.435	10.447	1520
1530	10.447	10.458	10.470	10.482	10.493	10.505	10.516	10.528	10.540	10.551	10.563	1530
1540	10.563	10.575	10.586	10.598	10.609	10.621	10.633	10.644	10.656	10.668	10.679	1540
1550	10.679	10.691	10.703	10.714	10.726	10.738	10.749	10.761	10.773	10.784	10.796	1550
1560	10.796	10.808	10.819	10.831	10.843	10.854	10.866	10.877	10.889	10.901	10.913	1560
1570	10.913	10.924	10.936	10.948	10.959	10.971	10.983	10.994	11.006	11.018	11.029	1570
1580	11.029	11.041	11.053	11.064	11.076	11.088	11.099	11.111	11.123	11.134	11.146	1580
1590	11.146	11.158	11.169	11.181	11.193	11.205	11.216	11.228	11.240	11.251	11.263	1590
1600	11.263	11.275	11.286	11.298	11.310	11.321	11.333	11.345	11.357	11.368	11.380	1600
1610	11.380	11.392	11.403	11.415	11.427	11.438	11.450	11.462	11.474	11.485	11.497	1610
1620	11.497	11.509	11.520	11.532	11.544	11.555	11.567	11.579	11.591	11.602	11.614	1620
1630	11.614	11.626	11.637	11.649	11.661	11.673	11.684	11.696	11.708	11.719	11.731	1630
1640	11.731	11.743	11.754	11.766	11.778	11.790	11.801	11.813	11.825	11.836	11.848	1640
1650	11.848	11.860	11.871	11.883	11.895	11.907	11.918	11.930	11.942	11.953	11.965	1650
1660	11.965	11.977	11.988	12.000	12.012	12.024	12.035	12.047	12.059	12.070	12.082	1660
1670	12.082	12.094	12.105	12.117	12.129	12.141	12.152	12.164	12.176	12.187	12.199	1670
1680	12.199	12.211	12.222	12.234	12.246	12.257	12.269	12.281	12.292	12.304	12.316	1680
1690	12.316	12.327	12.339	12.351	12.363	12.374	12.386	12.398	12.409	12.421	12.433	1690
1700	12.433	12.444	12.456	12.468	12.479	12.491	12.503	12.514	12.526	12.538	12.549	1700
1710	12.549	12.561	12.572	12.584	12.596	12.607	12.619	12.631	12.642	12.654	12.666	1710
1720	12.666	12.677	12.689	12.701	12.712	12.724	12.736	12.747	12.759	12.770	12.782	1720
1730	12.782	12.794	12.805	12.817	12.829	12.840	12.852	12.863	12.875	12.887	12.898	1730
1740	12.898	12.910	12.921	12.933	12.945	12.956	12.968	12.980	12.991	13.003	13.014	1740
1750	13.014	13.026	13.037	13.049	13.061	13.072	13.084	13.095	13.107	13.119	13.130	1750
1760	13.130	13.142	13.153	13.165	13.176	13.188	13.200	13.211	13.223	13.234	13.246	1760
1770	13.246	13.257	13.269	13.280	13.292	13.304	13.315	13.327	13.338	13.350	13.361	1770
1780	13.361	13.373	13.384	13.396	13.407	13.419	13.430	13.442	13.453	13.465	13.476	1780
1790	13.476	13.488	13.499	13.511	13.522	13.534	13.545	13.557	13.568	13.580	13.591	1790
1800	13.591	13.603	13.614	13.626	13.637	13.649	13.660	13.672	13.683	13.694	13.706	1800
1810	13.706	13.717	13.729	13.740	13.752	13.763	13.775	13.786	13.797	13.809	13.820	1810
1820	13.820											1820

TABLE 5 Type E Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-9.835											-270
-260	-9.797	-9.802	-9.808	-9.813	-9.817	-9.821	-9.825	-9.828	-9.831	-9.833	-9.835	-260
-250	-9.718	-9.728	-9.737	-9.746	-9.754	-9.762	-9.770	-9.777	-9.784	-9.790	-9.797	-250
-240	-9.604	-9.617	-9.630	-9.642	-9.654	-9.666	-9.677	-9.688	-9.698	-9.709	-9.718	-240
-230	-9.455	-9.471	-9.487	-9.503	-9.519	-9.534	-9.548	-9.563	-9.577	-9.591	-9.604	-230
-220	-9.274	-9.293	-9.313	-9.331	-9.350	-9.368	-9.386	-9.404	-9.421	-9.438	-9.455	-220
-210	-9.063	-9.085	-9.107	-9.129	-9.151	-9.172	-9.193	-9.214	-9.234	-9.254	-9.274	-210
-200	-8.825	-8.850	-8.874	-8.899	-8.923	-8.947	-8.971	-8.994	-9.017	-9.040	-9.063	-200
-190	-8.561	-8.588	-8.616	-8.643	-8.669	-8.696	-8.722	-8.748	-8.774	-8.799	-8.825	-190
-180	-8.273	-8.303	-8.333	-8.362	-8.391	-8.420	-8.449	-8.477	-8.505	-8.533	-8.561	-180
-170	-7.963	-7.995	-8.027	-8.059	-8.090	-8.121	-8.152	-8.183	-8.213	-8.243	-8.273	-170
-160	-7.632	-7.666	-7.700	-7.733	-7.767	-7.800	-7.833	-7.866	-7.899	-7.931	-7.963	-160
-150	-7.279	-7.315	-7.351	-7.387	-7.423	-7.458	-7.493	-7.528	-7.563	-7.597	-7.632	-150
-140	-6.907	-6.945	-6.983	-7.021	-7.058	-7.096	-7.133	-7.170	-7.206	-7.243	-7.279	-140
-130	-6.516	-6.556	-6.596	-6.636	-6.675	-6.714	-6.753	-6.792	-6.831	-6.869	-6.907	-130
-120	-6.107	-6.149	-6.191	-6.232	-6.273	-6.314	-6.355	-6.396	-6.436	-6.476	-6.516	-120
-110	-5.681	-5.724	-5.767	-5.810	-5.853	-5.896	-5.939	-5.981	-6.023	-6.065	-6.107	-110
-100	-5.237	-5.282	-5.327	-5.372	-5.417	-5.461	-5.505	-5.549	-5.593	-5.637	-5.681	-100
-90	-4.777	-4.824	-4.871	-4.917	-4.963	-5.009	-5.055	-5.101	-5.147	-5.192	-5.237	-90
-80	-4.302	-4.350	-4.398	-4.446	-4.494	-4.542	-4.589	-4.636	-4.684	-4.731	-4.777	-80
-70	-3.811	-3.861	-3.911	-3.960	-4.009	-4.058	-4.107	-4.156	-4.205	-4.254	-4.302	-70
-60	-3.306	-3.357	-3.408	-3.459	-3.510	-3.561	-3.611	-3.661	-3.711	-3.761	-3.811	-60
-50	-2.787	-2.840	-2.892	-2.944	-2.996	-3.048	-3.100	-3.152	-3.204	-3.255	-3.306	-50
-40	-2.255	-2.309	-2.362	-2.416	-2.469	-2.523	-2.576	-2.629	-2.682	-2.735	-2.787	-40
-30	-1.709	-1.765	-1.820	-1.874	-1.929	-1.984	-2.038	-2.093	-2.147	-2.201	-2.255	-30
-20	-1.152	-1.208	-1.264	-1.320	-1.376	-1.432	-1.488	-1.543	-1.599	-1.654	-1.709	-20
-10	-0.582	-0.639	-0.697	-0.754	-0.811	-0.868	-0.925	-0.982	-1.039	-1.095	-1.152	-10
0	0.000	-0.059	-0.117	-0.176	-0.234	-0.292	-0.350	-0.408	-0.466	-0.524	-0.582	0
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591	0
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.010	1.071	1.131	1.192	10
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.740	1.801	20
30	1.801	1.862	1.924	1.986	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.420	30
40	2.420	2.482	2.545	2.607	2.670	2.733	2.795	2.858	2.921	2.984	3.048	40
50	3.048	3.111	3.174	3.238	3.301	3.365	3.429	3.492	3.556	3.620	3.685	50
60	3.685	3.749	3.813	3.877	3.942	4.006	4.071	4.136	4.200	4.265	4.330	60
70	4.330	4.395	4.460	4.526	4.591	4.656	4.722	4.788	4.853	4.919	4.985	70
80	4.985	5.051	5.117	5.183	5.249	5.315	5.382	5.448	5.514	5.581	5.648	80
90	5.648	5.714	5.781	5.848	5.915	5.982	6.049	6.117	6.184	6.251	6.319	90
100	6.319	6.386	6.454	6.522	6.590	6.658	6.725	6.794	6.862	6.930	6.998	100
110	6.998	7.066	7.135	7.203	7.272	7.341	7.409	7.478	7.547	7.616	7.685	110
120	7.685	7.754	7.823	7.892	7.962	8.031	8.101	8.170	8.240	8.309	8.379	120
130	8.379	8.449	8.519	8.589	8.659	8.729	8.799	8.869	8.940	9.010	9.081	130
140	9.081	9.151	9.222	9.292	9.363	9.434	9.505	9.576	9.647	9.718	9.789	140
150	9.789	9.860	9.931	10.003	10.074	10.145	10.217	10.288	10.360	10.432	10.503	150
160	10.503	10.575	10.647	10.719	10.791	10.863	10.935	11.007	11.080	11.152	11.224	160
170	11.224	11.297	11.369	11.442	11.514	11.587	11.660	11.733	11.805	11.878	11.951	170
180	11.951	12.024	12.097	12.170	12.243	12.317	12.390	12.463	12.537	12.610	12.684	180
190	12.684	12.757	12.831	12.904	12.978	13.052	13.126	13.199	13.273	13.347	13.421	190

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C



TABLE 5 Type E Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
200	13.421	13.495	13.569	13.644	13.718	13.792	13.866	13.941	14.015	14.090	14.164	200
210	14.164	14.239	14.313	14.388	14.463	14.537	14.612	14.687	14.762	14.837	14.912	210
220	14.912	14.987	15.062	15.137	15.212	15.287	15.362	15.438	15.513	15.588	15.664	220
230	15.664	15.739	15.815	15.890	15.966	16.041	16.117	16.193	16.269	16.344	16.420	230
240	16.420	16.496	16.572	16.648	16.724	16.800	16.876	16.952	17.028	17.104	17.181	240
250	17.181	17.257	17.333	17.409	17.486	17.562	17.639	17.715	17.792	17.868	17.945	250
260	17.945	18.021	18.098	18.175	18.252	18.328	18.405	18.482	18.559	18.636	18.713	260
270	18.713	18.790	18.867	18.944	19.021	19.098	19.175	19.252	19.330	19.407	19.484	270
280	19.484	19.561	19.639	19.716	19.794	19.871	19.948	20.026	20.103	20.181	20.259	280
290	20.259	20.336	20.414	20.492	20.569	20.647	20.725	20.803	20.880	20.958	21.036	290
300	21.036	21.114	21.192	21.270	21.348	21.426	21.504	21.582	21.660	21.739	21.817	300
310	21.817	21.895	21.973	22.051	22.130	22.208	22.286	22.365	22.443	22.522	22.600	310
320	22.600	22.678	22.757	22.835	22.914	22.993	23.071	23.150	23.228	23.307	23.386	320
330	23.386	23.464	23.543	23.622	23.701	23.780	23.858	23.937	24.016	24.095	24.174	330
340	24.174	24.253	24.332	24.411	24.490	24.569	24.648	24.727	24.806	24.885	24.964	340
350	24.964	25.044	25.123	25.202	25.281	25.360	25.440	25.519	25.598	25.678	25.757	350
360	25.757	25.836	25.916	25.995	26.075	26.154	26.233	26.313	26.392	26.472	26.552	360
370	26.552	26.631	26.711	26.790	26.870	26.950	27.029	27.109	27.189	27.268	27.348	370
380	27.348	27.428	27.507	27.587	27.667	27.747	27.827	27.907	27.986	28.066	28.146	380
390	28.146	28.226	28.306	28.386	28.466	28.546	28.626	28.706	28.786	28.866	28.946	390
400	28.946	29.026	29.106	29.186	29.266	29.346	29.427	29.507	29.587	29.667	29.747	400
410	29.747	29.827	29.908	29.988	30.068	30.148	30.229	30.309	30.389	30.470	30.550	410
420	30.550	30.630	30.711	30.791	30.871	30.952	31.032	31.112	31.193	31.273	31.354	420
430	31.354	31.434	31.515	31.595	31.676	31.756	31.837	31.917	31.998	32.078	32.159	430
440	32.159	32.239	32.320	32.400	32.481	32.562	32.642	32.723	32.803	32.884	32.965	440
450	32.965	33.045	33.126	33.207	33.287	33.368	33.449	33.529	33.610	33.691	33.772	450
460	33.772	33.852	33.933	34.014	34.095	34.175	34.256	34.337	34.418	34.498	34.579	460
470	34.579	34.660	34.741	34.822	34.902	34.983	35.064	35.145	35.226	35.307	35.387	470
480	35.387	35.468	35.549	35.630	35.711	35.792	35.873	35.954	36.034	36.115	36.196	480
490	36.196	36.277	36.358	36.439	36.520	36.601	36.682	36.763	36.843	36.924	37.005	490
500	37.005	37.086	37.167	37.248	37.329	37.410	37.491	37.572	37.653	37.734	37.815	500
510	37.815	37.896	37.977	38.058	38.139	38.220	38.300	38.381	38.462	38.543	38.624	510
520	38.624	38.705	38.786	38.867	38.948	39.029	39.110	39.191	39.272	39.353	39.434	520
530	39.434	39.515	39.596	39.677	39.758	39.839	39.920	40.001	40.082	40.163	40.243	530
540	40.243	40.324	40.405	40.486	40.567	40.648	40.729	40.810	40.891	40.972	41.053	540
550	41.053	41.134	41.215	41.296	41.377	41.457	41.538	41.619	41.700	41.781	41.862	550
560	41.862	41.943	42.024	42.105	42.185	42.266	42.347	42.428	42.509	42.590	42.671	560
570	42.671	42.751	42.832	42.913	42.994	43.075	43.156	43.236	43.317	43.398	43.479	570
580	43.479	43.560	43.640	43.721	43.802	43.883	43.963	44.044	44.125	44.206	44.286	580
590	44.286	44.367	44.448	44.529	44.609	44.690	44.771	44.851	44.932	45.013	45.093	590
600	45.093	45.174	45.255	45.335	45.416	45.497	45.577	45.658	45.738	45.819	45.900	600
610	45.900	45.980	46.061	46.141	46.222	46.302	46.383	46.463	46.544	46.624	46.705	610
620	46.705	46.785	46.866	46.946	47.027	47.107	47.188	47.268	47.349	47.429	47.509	620
630	47.509	47.590	47.670	47.751	47.831	47.911	47.992	48.072	48.152	48.233	48.313	630
640	48.313	48.393	48.474	48.554	48.634	48.715	48.795	48.875	48.955	49.035	49.116	640
650	49.116	49.196	49.276	49.356	49.436	49.517	49.597	49.677	49.757	49.837	49.917	650
660	49.917	49.997	50.077	50.157	50.238	50.318	50.398	50.478	50.558	50.638	50.718	660
670	50.718	50.798	50.878	50.958	51.038	51.118	51.197	51.277	51.357	51.437	51.517	670
680	51.517	51.597	51.677	51.757	51.837	51.916	51.996	52.076	52.156	52.236	52.315	680
690	52.315	52.395	52.475	52.555	52.634	52.714	52.794	52.873	52.953	53.033	53.112	690
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 5 Type E Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
700	53.112	53.192	53.272	53.351	53.431	53.510	53.590	53.670	53.749	53.829	53.908	700
710	53.908	53.988	54.067	54.147	54.226	54.306	54.385	54.465	54.544	54.624	54.703	710
720	54.703	54.782	54.862	54.941	55.021	55.100	55.179	55.259	55.338	55.417	55.497	720
730	55.497	55.576	55.655	55.734	55.814	55.893	55.972	56.051	56.131	56.210	56.289	730
740	56.289	56.368	56.447	56.526	56.606	56.685	56.764	56.843	56.922	57.001	57.080	740
750	57.080	57.159	57.238	57.317	57.396	57.475	57.554	57.633	57.712	57.791	57.870	750
760	57.870	57.949	58.028	58.107	58.186	58.265	58.343	58.422	58.501	58.580	58.659	760
770	58.659	58.738	58.816	58.895	58.974	59.053	59.131	59.210	59.289	59.367	59.446	770
780	59.446	59.525	59.604	59.682	59.761	59.839	59.918	59.997	60.075	60.154	60.232	780
790	60.232	60.311	60.390	60.468	60.547	60.625	60.704	60.782	60.860	60.939	61.017	790
800	61.017	61.096	61.174	61.253	61.331	61.409	61.488	61.566	61.644	61.723	61.801	800
810	61.801	61.879	61.958	62.036	62.114	62.192	62.271	62.349	62.427	62.505	62.583	810
820	62.583	62.662	62.740	62.818	62.896	62.974	63.052	63.130	63.208	63.286	63.364	820
830	63.364	63.442	63.520	63.598	63.676	63.754	63.832	63.910	63.988	64.066	64.144	830
840	64.144	64.222	64.300	64.377	64.455	64.533	64.611	64.689	64.766	64.844	64.922	840
850	64.922	65.000	65.077	65.155	65.233	65.310	65.388	65.465	65.543	65.621	65.698	850
860	65.698	65.776	65.853	65.931	66.008	66.086	66.163	66.241	66.318	66.396	66.473	860
870	66.473	66.550	66.628	66.705	66.782	66.860	66.937	67.014	67.092	67.169	67.246	870
880	67.246	67.323	67.400	67.478	67.555	67.632	67.709	67.786	67.863	67.940	68.017	880
890	68.017	68.094	68.171	68.248	68.325	68.402	68.479	68.556	68.633	68.710	68.787	890
900	68.787	68.863	68.940	69.017	69.094	69.171	69.247	69.324	69.401	69.477	69.554	900
910	69.554	69.631	69.707	69.784	69.860	69.937	70.013	70.090	70.166	70.243	70.319	910
920	70.319	70.396	70.472	70.548	70.625	70.701	70.777	70.854	70.930	71.006	71.082	920
930	71.082	71.159	71.235	71.311	71.387	71.463	71.539	71.615	71.692	71.768	71.844	930
940	71.844	71.920	71.996	72.072	72.147	72.223	72.299	72.375	72.451	72.527	72.603	940
950	72.603	72.678	72.754	72.830	72.906	72.981	73.057	73.133	73.208	73.284	73.360	950
960	73.360	73.435	73.511	73.586	73.662	73.738	73.813	73.889	73.964	74.040	74.115	960
970	74.115	74.190	74.266	74.341	74.417	74.492	74.567	74.643	74.718	74.793	74.869	970
980	74.869	74.944	75.019	75.095	75.170	75.245	75.320	75.395	75.471	75.546	75.621	980
990	75.621	75.696	75.771	75.847	75.922	75.997	76.072	76.147	76.223	76.298	76.373	990
1000	76.373											1000

TABLE 7 Type J Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-210	-8.095											-210
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.095	-200
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890	-190
-180	-7.403	-7.429	-7.456	-7.482	-7.508	-7.534	-7.559	-7.585	-7.610	-7.634	-7.659	-180
-170	-7.123	-7.152	-7.181	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.376	-7.403	-170
-160	-6.821	-6.853	-6.883	-6.914	-6.944	-6.975	-7.005	-7.035	-7.064	-7.094	-7.123	-160
-150	-6.500	-6.533	-6.566	-6.598	-6.631	-6.663	-6.695	-6.727	-6.759	-6.790	-6.821	-150
-140	-6.159	-6.194	-6.229	-6.263	-6.298	-6.332	-6.366	-6.400	-6.433	-6.467	-6.500	-140
-130	-5.801	-5.838	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.054	-6.089	-6.124	-6.159	-130
-120	-5.426	-5.465	-5.503	-5.541	-5.578	-5.616	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801	-120
-110	-5.037	-5.076	-5.116	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.350	-5.388	-5.426	-110
-100	-4.633	-4.674	-4.714	-4.755	-4.796	-4.836	-4.877	-4.917	-4.957	-4.997	-5.037	-100
-90	-4.215	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633	-90
-80	-3.786	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215	-80
-70	-3.344	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786	-70
-60	-2.893	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344	-60
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893	-50
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431	-40
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961	-30
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482	-20
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	20
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	30
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	40
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116	50
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650	60
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187	70
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726	80
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269	90
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814	100
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360	110
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909	120
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459	130
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010	140
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562	150
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115	160
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669	170
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224	180
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779	190
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278	11.334	200
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834	11.889	210
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389	12.445	220
230	12.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944	13.000	230
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500	13.555	240

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C



TABLE 7 *Type J Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110	250
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665	260
270	14.665	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219	270
280	15.219	15.275	15.330	15.386	15.441	15.496	15.552	15.607	15.663	15.718	15.773	280
290	15.773	15.829	15.884	15.940	15.995	16.050	16.106	16.161	16.216	16.272	16.327	290
300	16.327	16.383	16.438	16.493	16.549	16.604	16.659	16.715	16.770	16.825	16.881	300
310	16.881	16.936	16.991	17.046	17.102	17.157	17.212	17.268	17.323	17.378	17.434	310
320	17.434	17.489	17.544	17.599	17.655	17.710	17.765	17.820	17.876	17.931	17.986	320
330	17.986	18.041	18.097	18.152	18.207	18.262	18.318	18.373	18.428	18.483	18.538	330
340	18.538	18.594	18.649	18.704	18.759	18.814	18.870	18.925	18.980	19.035	19.090	340
350	19.090	19.146	19.201	19.256	19.311	19.366	19.422	19.477	19.532	19.587	19.642	350
360	19.642	19.697	19.753	19.808	19.863	19.918	19.973	20.028	20.083	20.139	20.194	360
370	20.194	20.249	20.304	20.359	20.414	20.469	20.525	20.580	20.635	20.690	20.745	370
380	20.745	20.800	20.855	20.911	20.966	21.021	21.076	21.131	21.186	21.241	21.297	380
390	21.297	21.352	21.407	21.462	21.517	21.572	21.627	21.683	21.738	21.793	21.848	390
400	21.848	21.903	21.958	22.014	22.069	22.124	22.179	22.234	22.289	22.345	22.400	400
410	22.400	22.455	22.510	22.565	22.620	22.676	22.731	22.786	22.841	22.896	22.952	410
420	22.952	23.007	23.062	23.117	23.172	23.228	23.283	23.338	23.393	23.449	23.504	420
430	23.504	23.559	23.614	23.670	23.725	23.780	23.835	23.891	23.946	24.001	24.057	430
440	24.057	24.112	24.167	24.223	24.278	24.333	24.389	24.444	24.499	24.555	24.610	440
450	24.610	24.665	24.721	24.776	24.832	24.887	24.943	24.998	25.053	25.109	25.164	450
460	25.164	25.220	25.275	25.331	25.386	25.442	25.497	25.553	25.608	25.664	25.720	460
470	25.720	25.775	25.831	25.886	25.942	25.998	26.053	26.109	26.165	26.220	26.276	470
480	26.276	26.332	26.387	26.443	26.499	26.555	26.610	26.666	26.722	26.778	26.834	480
490	26.834	26.889	26.945	27.001	27.057	27.113	27.169	27.225	27.281	27.337	27.393	490
500	27.393	27.449	27.505	27.561	27.617	27.673	27.729	27.785	27.841	27.897	27.953	500
510	27.953	28.010	28.066	28.122	28.178	28.234	28.291	28.347	28.403	28.460	28.516	510
520	28.516	28.572	28.629	28.685	28.741	28.798	28.854	28.911	28.967	29.024	29.080	520
530	29.080	29.137	29.194	29.250	29.307	29.363	29.420	29.477	29.534	29.590	29.647	530
540	29.647	29.704	29.761	29.818	29.874	29.931	29.988	30.045	30.102	30.159	30.216	540
550	30.216	30.273	30.330	30.387	30.444	30.502	30.559	30.616	30.673	30.730	30.788	550
560	30.788	30.845	30.902	30.960	31.017	31.074	31.132	31.189	31.247	31.304	31.362	560
570	31.362	31.419	31.477	31.535	31.592	31.650	31.708	31.766	31.823	31.881	31.939	570
580	31.939	31.997	32.055	32.113	32.171	32.229	32.287	32.345	32.403	32.461	32.519	580
590	32.519	32.577	32.636	32.694	32.752	32.810	32.869	32.927	32.985	33.044	33.102	590
600	33.102	33.161	33.219	33.278	33.337	33.395	33.454	33.513	33.571	33.630	33.689	600
610	33.689	33.748	33.807	33.866	33.925	33.984	34.043	34.102	34.161	34.220	34.279	610
620	34.279	34.338	34.397	34.457	34.516	34.575	34.635	34.694	34.754	34.813	34.873	620
630	34.873	34.932	34.992	35.051	35.111	35.171	35.230	35.290	35.350	35.410	35.470	630
640	35.470	35.530	35.590	35.650	35.710	35.770	35.830	35.890	35.950	36.010	36.071	640
650	36.071	36.131	36.191	36.252	36.312	36.373	36.433	36.494	36.554	36.615	36.675	650
660	36.675	36.736	36.797	36.858	36.918	36.979	37.040	37.101	37.162	37.223	37.284	660
670	37.284	37.345	37.406	37.467	37.528	37.590	37.651	37.712	37.773	37.835	37.896	670
680	37.896	37.958	38.019	38.081	38.142	38.204	38.265	38.327	38.389	38.450	38.512	680
690	38.512	38.574	38.636	38.698	38.760	38.822	38.884	38.946	39.008	39.070	39.132	690
700	39.132	39.194	39.256	39.318	39.381	39.443	39.505	39.568	39.630	39.693	39.755	700
710	39.755	39.818	39.880	39.943	40.005	40.068	40.131	40.193	40.256	40.319	40.382	710
720	40.382	40.445	40.508	40.570	40.633	40.696	40.759	40.822	40.886	40.949	41.012	720
730	41.012	41.075	41.138	41.201	41.265	41.328	41.391	41.455	41.518	41.581	41.645	730
740	41.645	41.708	41.772	41.835	41.899	41.962	42.026	42.090	42.153	42.217	42.281	740
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 7 Type J Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
750	42.281	42.344	42.408	42.472	42.536	42.599	42.663	42.727	42.791	42.855	42.919	750
760	42.919	42.983	43.047	43.111	43.175	43.239	43.303	43.367	43.431	43.495	43.559	760
770	43.559	43.624	43.688	43.752	43.817	43.881	43.945	44.010	44.074	44.139	44.203	770
780	44.203	44.267	44.332	44.396	44.461	44.525	44.590	44.655	44.719	44.784	44.848	780
790	44.848	44.913	44.977	45.042	45.107	45.171	45.236	45.301	45.365	45.430	45.494	790
800	45.494	45.559	45.624	45.688	45.753	45.818	45.882	45.947	46.011	46.076	46.141	800
810	46.141	46.205	46.270	46.334	46.399	46.464	46.528	46.593	46.657	46.722	46.786	810
820	46.786	46.851	46.915	46.980	47.044	47.109	47.173	47.238	47.302	47.367	47.431	820
830	47.431	47.495	47.560	47.624	47.688	47.753	47.817	47.881	47.946	48.010	48.074	830
840	48.074	48.138	48.202	48.267	48.331	48.395	48.459	48.523	48.587	48.651	48.715	840
850	48.715	48.779	48.843	48.907	48.971	49.034	49.098	49.162	49.226	49.290	49.353	850
860	49.353	49.417	49.481	49.544	49.608	49.672	49.735	49.799	49.862	49.926	49.989	860
870	49.989	50.052	50.116	50.179	50.243	50.306	50.369	50.432	50.495	50.559	50.622	870
880	50.622	50.685	50.748	50.811	50.874	50.937	51.000	51.063	51.126	51.188	51.251	880
890	51.251	51.314	51.377	51.439	51.502	51.565	51.627	51.690	51.752	51.815	51.877	890
900	51.877	51.940	52.002	52.064	52.127	52.189	52.251	52.314	52.376	52.438	52.500	900
910	52.500	52.562	52.624	52.686	52.748	52.810	52.872	52.934	52.996	53.057	53.119	910
920	53.119	53.181	53.243	53.304	53.366	53.427	53.489	53.550	53.612	53.673	53.735	920
930	53.735	53.796	53.857	53.919	53.980	54.041	54.102	54.164	54.225	54.286	54.347	930
940	54.347	54.408	54.469	54.530	54.591	54.652	54.713	54.773	54.834	54.895	54.956	940
950	54.956	55.016	55.077	55.138	55.198	55.259	55.319	55.380	55.440	55.501	55.561	950
960	55.561	55.622	55.682	55.742	55.803	55.863	55.923	55.983	56.043	56.104	56.164	960
970	56.164	56.224	56.284	56.344	56.404	56.464	56.524	56.584	56.643	56.703	56.763	970
980	56.763	56.823	56.883	56.942	57.002	57.062	57.121	57.181	57.240	57.300	57.360	980
990	57.360	57.419	57.479	57.538	57.597	57.657	57.716	57.776	57.835	57.894	57.953	990
1000	57.953	58.013	58.072	58.131	58.190	58.249	58.309	58.368	58.427	58.486	58.545	1000
1010	58.545	58.604	58.663	58.722	58.781	58.840	58.899	58.957	59.016	59.075	59.134	1010
1020	59.134	59.193	59.252	59.310	59.369	59.428	59.487	59.545	59.604	59.663	59.721	1020
1030	59.721	59.780	59.838	59.897	59.956	60.014	60.073	60.131	60.190	60.248	60.307	1030
1040	60.307	60.365	60.423	60.482	60.540	60.599	60.657	60.715	60.774	60.832	60.890	1040
1050	60.890	60.949	61.007	61.065	61.123	61.182	61.240	61.298	61.356	61.415	61.473	1050
1060	61.473	61.531	61.589	61.647	61.705	61.763	61.822	61.880	61.938	61.996	62.054	1060
1070	62.054	62.112	62.170	62.228	62.286	62.344	62.402	62.460	62.518	62.576	62.634	1070
1080	62.634	62.692	62.750	62.808	62.866	62.924	62.982	63.040	63.098	63.156	63.214	1080
1090	63.214	63.271	63.329	63.387	63.445	63.503	63.561	63.619	63.677	63.734	63.792	1090
1100	63.792	63.850	63.908	63.966	64.024	64.081	64.139	64.197	64.255	64.313	64.370	1100
1110	64.370	64.428	64.486	64.544	64.602	64.659	64.717	64.775	64.833	64.890	64.948	1110
1120	64.948	65.006	65.064	65.121	65.179	65.237	65.295	65.352	65.410	65.468	65.525	1120
1130	65.525	65.583	65.641	65.699	65.756	65.814	65.872	65.929	65.987	66.045	66.102	1130
1140	66.102	66.160	66.218	66.275	66.333	66.391	66.448	66.506	66.564	66.621	66.679	1140
1150	66.679	66.737	66.794	66.852	66.910	66.967	67.025	67.082	67.140	67.198	67.255	1150
1160	67.255	67.313	67.370	67.428	67.486	67.543	67.601	67.658	67.716	67.773	67.831	1160
1170	67.831	67.888	67.946	68.003	68.061	68.119	68.176	68.234	68.291	68.348	68.406	1170
1180	68.406	68.463	68.521	68.578	68.636	68.693	68.751	68.808	68.865	68.923	68.980	1180
1190	68.980	69.037	69.095	69.152	69.209	69.267	69.324	69.381	69.439	69.496	69.553	1190
1200	69.553											1200



TABLE 9 Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-6.458											-270
-260	-6.411	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458	-260
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441	-250
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404	-240
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344	-230
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262	-220
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158	-210
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035	-200
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891	-190
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730	-180
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550	-170
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354	-160
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141	-150
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913	-140
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669	-130
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411	-120
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138	-110
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852	-100
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554	-90
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243	-80
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920	-70
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587	-60
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243	-50
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	-40
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	-30
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	-20
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	-10
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 9 Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924	520
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776	540
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203	550
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629	560
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055	570
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480	580
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905	590
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330	600
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755	610
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179	620
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602	630
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025	640
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447	650
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869	660
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289	670
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710	680
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129	690
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 9 *Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548	700
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382	720
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798	730
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213	740
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628	750
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041	760
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453	770
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865	780
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275	790
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 9 Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1370	54.819	54.852	54.886									1370



TABLE 11 *Type N Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-4.345											-270
-260	-4.336	-4.337	-4.339	-4.340	-4.341	-4.342	-4.343	-4.344	-4.344	-4.345	-4.345	-260
-250	-4.313	-4.316	-4.319	-4.321	-4.324	-4.326	-4.328	-4.330	-4.332	-4.334	-4.336	-250
-240	-4.277	-4.281	-4.285	-4.289	-4.293	-4.297	-4.300	-4.304	-4.307	-4.310	-4.313	-240
-230	-4.226	-4.232	-4.238	-4.243	-4.248	-4.254	-4.258	-4.263	-4.268	-4.273	-4.277	-230
-220	-4.162	-4.169	-4.176	-4.183	-4.189	-4.196	-4.202	-4.209	-4.215	-4.221	-4.226	-220
-210	-4.083	-4.091	-4.100	-4.108	-4.116	-4.124	-4.132	-4.140	-4.147	-4.154	-4.162	-210
-200	-3.990	-4.000	-4.010	-4.020	-4.029	-4.038	-4.048	-4.057	-4.066	-4.074	-4.083	-200
-190	-3.884	-3.896	-3.907	-3.918	-3.928	-3.939	-3.950	-3.960	-3.970	-3.980	-3.990	-190
-180	-3.766	-3.778	-3.790	-3.803	-3.815	-3.827	-3.838	-3.850	-3.862	-3.873	-3.884	-180
-170	-3.634	-3.648	-3.662	-3.675	-3.688	-3.702	-3.715	-3.728	-3.740	-3.753	-3.766	-170
-160	-3.491	-3.506	-3.521	-3.535	-3.550	-3.564	-3.578	-3.593	-3.607	-3.621	-3.634	-160
-150	-3.336	-3.352	-3.368	-3.384	-3.400	-3.415	-3.431	-3.446	-3.461	-3.476	-3.491	-150
-140	-3.171	-3.188	-3.205	-3.221	-3.238	-3.255	-3.271	-3.288	-3.304	-3.320	-3.336	-140
-130	-2.994	-3.012	-3.030	-3.048	-3.066	-3.084	-3.101	-3.119	-3.136	-3.153	-3.171	-130
-120	-2.808	-2.827	-2.846	-2.865	-2.883	-2.902	-2.921	-2.939	-2.958	-2.976	-2.994	-120
-110	-2.612	-2.632	-2.652	-2.672	-2.691	-2.711	-2.730	-2.750	-2.769	-2.789	-2.808	-110
-100	-2.407	-2.428	-2.448	-2.469	-2.490	-2.510	-2.531	-2.551	-2.571	-2.592	-2.612	-100
-90	-2.193	-2.215	-2.237	-2.258	-2.280	-2.301	-2.322	-2.344	-2.365	-2.386	-2.407	-90
-80	-1.972	-1.995	-2.017	-2.039	-2.062	-2.084	-2.106	-2.128	-2.150	-2.172	-2.193	-80
-70	-1.744	-1.767	-1.790	-1.813	-1.836	-1.859	-1.882	-1.905	-1.927	-1.950	-1.972	-70
-60	-1.509	-1.533	-1.557	-1.580	-1.604	-1.627	-1.651	-1.674	-1.698	-1.721	-1.744	-60
-50	-1.269	-1.293	-1.317	-1.341	-1.366	-1.390	-1.414	-1.438	-1.462	-1.485	-1.509	-50
-40	-1.023	-1.048	-1.072	-1.097	-1.122	-1.146	-1.171	-1.195	-1.220	-1.244	-1.269	-40
-30	-0.772	-0.798	-0.823	-0.848	-0.873	-0.898	-0.923	-0.948	-0.973	-0.998	-1.023	-30
-20	-0.518	-0.544	-0.569	-0.595	-0.620	-0.646	-0.671	-0.696	-0.722	-0.747	-0.772	-20
-10	-0.260	-0.286	-0.312	-0.338	-0.364	-0.390	-0.415	-0.441	-0.467	-0.492	-0.518	-10
0	0.000	-0.026	-0.052	-0.078	-0.104	-0.131	-0.157	-0.183	-0.209	-0.234	-0.260	0
0	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.208	0.235	0.261	0
10	0.261	0.287	0.313	0.340	0.366	0.393	0.419	0.446	0.472	0.499	0.525	10
20	0.525	0.552	0.578	0.605	0.632	0.659	0.685	0.712	0.739	0.766	0.793	20
30	0.793	0.820	0.847	0.874	0.901	0.928	0.955	0.983	1.010	1.037	1.065	30
40	1.065	1.092	1.119	1.147	1.174	1.202	1.229	1.257	1.284	1.312	1.340	40
50	1.340	1.368	1.395	1.423	1.451	1.479	1.507	1.535	1.563	1.591	1.619	50
60	1.619	1.647	1.675	1.703	1.732	1.760	1.788	1.817	1.845	1.873	1.902	60
70	1.902	1.930	1.959	1.988	2.016	2.045	2.074	2.102	2.131	2.160	2.189	70
80	2.189	2.218	2.247	2.276	2.305	2.334	2.363	2.392	2.421	2.450	2.480	80
90	2.480	2.509	2.538	2.568	2.597	2.626	2.656	2.685	2.715	2.744	2.774	90
100	2.774	2.804	2.833	2.863	2.893	2.923	2.953	2.983	3.012	3.042	3.072	100
110	3.072	3.102	3.133	3.163	3.193	3.223	3.253	3.283	3.314	3.344	3.374	110
120	3.374	3.405	3.435	3.466	3.496	3.527	3.557	3.588	3.619	3.649	3.680	120
130	3.680	3.711	3.742	3.772	3.803	3.834	3.865	3.896	3.927	3.958	3.989	130
140	3.989	4.020	4.051	4.083	4.114	4.145	4.176	4.208	4.239	4.270	4.302	140
150	4.302	4.333	4.365	4.396	4.428	4.459	4.491	4.523	4.554	4.586	4.618	150
160	4.618	4.650	4.681	4.713	4.745	4.777	4.809	4.841	4.873	4.905	4.937	160
170	4.937	4.969	5.001	5.033	5.066	5.098	5.130	5.162	5.195	5.227	5.259	170
180	5.259	5.292	5.324	5.357	5.389	5.422	5.454	5.487	5.520	5.552	5.585	180
190	5.585	5.618	5.650	5.683	5.716	5.749	5.782	5.815	5.847	5.880	5.913	190

TABLE 11 Type N Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
200	5.913	5.946	5.979	6.013	6.046	6.079	6.112	6.145	6.178	6.211	6.245	200
210	6.245	6.278	6.311	6.345	6.378	6.411	6.445	6.478	6.512	6.545	6.579	210
220	6.579	6.612	6.646	6.680	6.713	6.747	6.781	6.814	6.848	6.882	6.916	220
230	6.916	6.949	6.983	7.017	7.051	7.085	7.119	7.153	7.187	7.221	7.255	230
240	7.255	7.289	7.323	7.357	7.392	7.426	7.460	7.494	7.528	7.563	7.597	240
250	7.597	7.631	7.666	7.700	7.734	7.769	7.803	7.838	7.872	7.907	7.941	250
260	7.941	7.976	8.010	8.045	8.080	8.114	8.149	8.184	8.218	8.253	8.288	260
270	8.288	8.323	8.358	8.392	8.427	8.462	8.497	8.532	8.567	8.602	8.637	270
280	8.637	8.672	8.707	8.742	8.777	8.812	8.847	8.882	8.918	8.953	8.988	280
290	8.988	9.023	9.058	9.094	9.129	9.164	9.200	9.235	9.270	9.306	9.341	290
300	9.341	9.377	9.412	9.448	9.483	9.519	9.554	9.590	9.625	9.661	9.696	300
310	9.696	9.732	9.768	9.803	9.839	9.875	9.910	9.946	9.982	10.018	10.054	310
320	10.054	10.089	10.125	10.161	10.197	10.233	10.269	10.305	10.341	10.377	10.413	320
330	10.413	10.449	10.485	10.521	10.557	10.593	10.629	10.665	10.701	10.737	10.774	330
340	10.774	10.810	10.846	10.882	10.918	10.955	10.991	11.027	11.064	11.100	11.136	340
350	11.136	11.173	11.209	11.245	11.282	11.318	11.355	11.391	11.428	11.464	11.501	350
360	11.501	11.537	11.574	11.610	11.647	11.683	11.720	11.757	11.793	11.830	11.867	360
370	11.867	11.903	11.940	11.977	12.013	12.050	12.087	12.124	12.160	12.197	12.234	370
380	12.234	12.271	12.308	12.345	12.382	12.418	12.455	12.492	12.529	12.566	12.603	380
390	12.603	12.640	12.677	12.714	12.751	12.788	12.825	12.862	12.899	12.937	12.974	390
400	12.974	13.011	13.048	13.085	13.122	13.159	13.197	13.234	13.271	13.308	13.346	400
410	13.346	13.383	13.420	13.457	13.495	13.532	13.569	13.607	13.644	13.682	13.719	410
420	13.719	13.756	13.794	13.831	13.869	13.906	13.944	13.981	14.019	14.056	14.094	420
430	14.094	14.131	14.169	14.206	14.244	14.281	14.319	14.356	14.394	14.432	14.469	430
440	14.469	14.507	14.545	14.582	14.620	14.658	14.695	14.733	14.771	14.809	14.846	440
450	14.846	14.884	14.922	14.960	14.998	15.035	15.073	15.111	15.149	15.187	15.225	450
460	15.225	15.262	15.300	15.338	15.376	15.414	15.452	15.490	15.528	15.566	15.604	460
470	15.604	15.642	15.680	15.718	15.756	15.794	15.832	15.870	15.908	15.946	15.984	470
480	15.984	16.022	16.060	16.099	16.137	16.175	16.213	16.251	16.289	16.327	16.366	480
490	16.366	16.404	16.442	16.480	16.518	16.557	16.595	16.633	16.671	16.710	16.748	490
500	16.748	16.786	16.824	16.863	16.901	16.939	16.978	17.016	17.054	17.093	17.131	500
510	17.131	17.169	17.208	17.246	17.285	17.323	17.361	17.400	17.438	17.477	17.515	510
520	17.515	17.554	17.592	17.630	17.669	17.707	17.746	17.784	17.823	17.861	17.900	520
530	17.900	17.938	17.977	18.016	18.054	18.093	18.131	18.170	18.208	18.247	18.286	530
540	18.286	18.324	18.363	18.401	18.440	18.479	18.517	18.556	18.595	18.633	18.672	540
550	18.672	18.711	18.749	18.788	18.827	18.865	18.904	18.943	18.982	19.020	19.059	550
560	19.059	19.098	19.136	19.175	19.214	19.253	19.292	19.330	19.369	19.408	19.447	560
570	19.447	19.485	19.524	19.563	19.602	19.641	19.680	19.718	19.757	19.796	19.835	570
580	19.835	19.874	19.913	19.952	19.990	20.029	20.068	20.107	20.146	20.185	20.224	580
590	20.224	20.263	20.302	20.341	20.379	20.418	20.457	20.496	20.535	20.574	20.613	590
600	20.613	20.652	20.691	20.730	20.769	20.808	20.847	20.886	20.925	20.964	21.003	600
610	21.003	21.042	21.081	21.120	21.159	21.198	21.237	21.276	21.315	21.354	21.393	610
620	21.393	21.432	21.471	21.510	21.549	21.588	21.628	21.667	21.706	21.745	21.784	620
630	21.784	21.823	21.862	21.901	21.940	21.979	22.018	22.058	22.097	22.136	22.175	630
640	22.175	22.214	22.253	22.292	22.331	22.370	22.410	22.449	22.488	22.527	22.566	640
650	22.566	22.605	22.644	22.684	22.723	22.762	22.801	22.840	22.879	22.919	22.958	650
660	22.958	22.997	23.036	23.075	23.115	23.154	23.193	23.232	23.271	23.311	23.350	660
670	23.350	23.389	23.428	23.467	23.507	23.546	23.585	23.624	23.663	23.703	23.742	670
680	23.742	23.781	23.820	23.860	23.899	23.938	23.977	24.016	24.056	24.095	24.134	680
690	24.134	24.173	24.213	24.252	24.291	24.330	24.370	24.409	24.448	24.487	24.527	690
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 11 *Type N Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
700	24.527	24.566	24.605	24.644	24.684	24.723	24.762	24.801	24.841	24.880	24.919	700
710	24.919	24.959	24.998	25.037	25.076	25.116	25.155	25.194	25.233	25.273	25.312	710
720	25.312	25.351	25.391	25.430	25.469	25.508	25.548	25.587	25.626	25.666	25.705	720
730	25.705	25.744	25.783	25.823	25.862	25.901	25.941	25.980	26.019	26.058	26.098	730
740	26.098	26.137	26.176	26.215	26.255	26.294	26.333	26.373	26.412	26.451	26.491	740
750	26.491	26.530	26.569	26.608	26.648	26.687	26.726	26.766	26.805	26.844	26.883	750
760	26.883	26.923	26.962	27.001	27.041	27.080	27.119	27.158	27.198	27.237	27.276	760
770	27.276	27.316	27.355	27.394	27.433	27.473	27.512	27.551	27.591	27.630	27.669	770
780	27.669	27.708	27.748	27.787	27.826	27.866	27.905	27.944	27.983	28.023	28.062	780
790	28.062	28.101	28.140	28.180	28.219	28.258	28.297	28.337	28.376	28.415	28.455	790
800	28.455	28.494	28.533	28.572	28.612	28.651	28.690	28.729	28.769	28.808	28.847	800
810	28.847	28.886	28.926	28.965	29.004	29.043	29.083	29.122	29.161	29.200	29.239	810
820	29.239	29.279	29.318	29.357	29.396	29.436	29.475	29.514	29.553	29.592	29.632	820
830	29.632	29.671	29.710	29.749	29.789	29.828	29.867	29.906	29.945	29.985	30.024	830
840	30.024	30.063	30.102	30.141	30.181	30.220	30.259	30.298	30.337	30.376	30.416	840
850	30.416	30.455	30.494	30.533	30.572	30.611	30.651	30.690	30.729	30.768	30.807	850
860	30.807	30.846	30.886	30.925	30.964	31.003	31.042	31.081	31.120	31.160	31.199	860
870	31.199	31.238	31.277	31.316	31.355	31.394	31.433	31.473	31.512	31.551	31.590	870
880	31.590	31.629	31.668	31.707	31.746	31.785	31.824	31.863	31.903	31.942	31.981	880
890	31.981	32.020	32.059	32.098	32.137	32.176	32.215	32.254	32.293	32.332	32.371	890
900	32.371	32.410	32.449	32.488	32.527	32.566	32.605	32.644	32.683	32.722	32.761	900
910	32.761	32.800	32.839	32.878	32.917	32.956	32.995	33.034	33.073	33.112	33.151	910
920	33.151	33.190	33.229	33.268	33.307	33.346	33.385	33.424	33.463	33.502	33.541	920
930	33.541	33.580	33.619	33.658	33.697	33.736	33.774	33.813	33.852	33.891	33.930	930
940	33.930	33.969	34.008	34.047	34.086	34.124	34.163	34.202	34.241	34.280	34.319	940
950	34.319	34.358	34.396	34.435	34.474	34.513	34.552	34.591	34.629	34.668	34.707	950
960	34.707	34.746	34.785	34.823	34.862	34.901	34.940	34.979	35.017	35.056	35.095	960
970	35.095	35.134	35.172	35.211	35.250	35.289	35.327	35.366	35.405	35.444	35.482	970
980	35.482	35.521	35.560	35.598	35.637	35.676	35.714	35.753	35.792	35.831	35.869	980
990	35.869	35.908	35.946	35.985	36.024	36.062	36.101	36.140	36.178	36.217	36.256	990
1000	36.256	36.294	36.333	36.371	36.410	36.449	36.487	36.526	36.564	36.603	36.641	1000
1010	36.641	36.680	36.718	36.757	36.796	36.834	36.873	36.911	36.950	36.988	37.027	1010
1020	37.027	37.065	37.104	37.142	37.181	37.219	37.258	37.296	37.334	37.373	37.411	1020
1030	37.411	37.450	37.488	37.527	37.565	37.603	37.642	37.680	37.719	37.757	37.795	1030
1040	37.795	37.834	37.872	37.911	37.949	37.987	38.026	38.064	38.102	38.141	38.179	1040
1050	38.179	38.217	38.256	38.294	38.332	38.370	38.409	38.447	38.485	38.524	38.562	1050
1060	38.562	38.600	38.638	38.677	38.715	38.753	38.791	38.829	38.868	38.906	38.944	1060
1070	38.944	38.982	39.020	39.059	39.097	39.135	39.173	39.211	39.249	39.287	39.326	1070
1080	39.326	39.364	39.402	39.440	39.478	39.516	39.554	39.592	39.630	39.668	39.706	1080
1090	39.706	39.744	39.783	39.821	39.859	39.897	39.935	39.973	40.011	40.049	40.087	1090
1100	40.087	40.125	40.163	40.201	40.238	40.276	40.314	40.352	40.390	40.428	40.466	1100
1110	40.466	40.504	40.542	40.580	40.618	40.655	40.693	40.731	40.769	40.807	40.845	1110
1120	40.845	40.883	40.920	40.958	40.996	41.034	41.072	41.109	41.147	41.185	41.223	1120
1130	41.223	41.260	41.298	41.336	41.374	41.411	41.449	41.487	41.525	41.562	41.600	1130
1140	41.600	41.638	41.675	41.713	41.751	41.788	41.826	41.864	41.901	41.939	41.976	1140
1150	41.976	42.014	42.052	42.089	42.127	42.164	42.202	42.239	42.277	42.314	42.352	1150
1160	42.352	42.390	42.427	42.465	42.502	42.540	42.577	42.614	42.652	42.689	42.727	1160
1170	42.727	42.764	42.802	42.839	42.877	42.914	42.951	42.989	43.026	43.064	43.101	1170
1180	43.101	43.138	43.176	43.213	43.250	43.288	43.325	43.362	43.399	43.437	43.474	1180
1190	43.474	43.511	43.549	43.586	43.623	43.660	43.698	43.735	43.772	43.809	43.846	1190

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

TABLE 11 *Type N Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1200	43.846	43.884	43.921	43.958	43.995	44.032	44.069	44.106	44.144	44.181	44.218	1200
1210	44.218	44.255	44.292	44.329	44.366	44.403	44.440	44.477	44.514	44.551	44.588	1210
1220	44.588	44.625	44.662	44.699	44.736	44.773	44.810	44.847	44.884	44.921	44.958	1220
1230	44.958	44.995	45.032	45.069	45.105	45.142	45.179	45.216	45.253	45.290	45.326	1230
1240	45.326	45.363	45.400	45.437	45.474	45.510	45.547	45.584	45.621	45.657	45.694	1240
1250	45.694	45.731	45.767	45.804	45.841	45.877	45.914	45.951	45.987	46.024	46.060	1250
1260	46.060	46.097	46.133	46.170	46.207	46.243	46.280	46.316	46.353	46.389	46.425	1260
1270	46.425	46.462	46.498	46.535	46.571	46.608	46.644	46.680	46.717	46.753	46.789	1270
1280	46.789	46.826	46.862	46.898	46.935	46.971	47.007	47.043	47.079	47.116	47.152	1280
1290	47.152	47.188	47.224	47.260	47.296	47.333	47.369	47.405	47.441	47.477	47.513	1290
1300	47.513											1300



TABLE 13 *Type R Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-50	-0.226											-50
-40	-0.188	-0.192	-0.196	-0.200	-0.204	-0.208	-0.211	-0.215	-0.219	-0.223	-0.226	-40
-30	-0.145	-0.150	-0.154	-0.158	-0.163	-0.167	-0.171	-0.175	-0.180	-0.184	-0.188	-30
-20	-0.100	-0.105	-0.109	-0.114	-0.119	-0.123	-0.128	-0.132	-0.137	-0.141	-0.145	-20
-10	-0.051	-0.056	-0.061	-0.066	-0.071	-0.076	-0.081	-0.086	-0.091	-0.095	-0.100	-10
0	0.000	-0.005	-0.011	-0.016	-0.021	-0.026	-0.031	-0.036	-0.041	-0.046	-0.051	0
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.027	0.032	0.038	0.043	0.049	0.054	0
10	0.054	0.060	0.065	0.071	0.077	0.082	0.088	0.094	0.100	0.105	0.111	10
20	0.111	0.117	0.123	0.129	0.135	0.141	0.147	0.153	0.159	0.165	0.171	20
30	0.171	0.177	0.183	0.189	0.195	0.201	0.207	0.214	0.220	0.226	0.232	30
40	0.232	0.239	0.245	0.251	0.258	0.264	0.271	0.277	0.284	0.290	0.296	40
50	0.296	0.303	0.310	0.316	0.323	0.329	0.336	0.343	0.349	0.356	0.363	50
60	0.363	0.369	0.376	0.383	0.390	0.397	0.403	0.410	0.417	0.424	0.431	60
70	0.431	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466	0.473	0.480	0.487	0.494	0.501	70
80	0.501	0.508	0.516	0.523	0.530	0.537	0.544	0.552	0.559	0.566	0.573	80
90	0.573	0.581	0.588	0.595	0.603	0.610	0.618	0.625	0.632	0.640	0.647	90
100	0.647	0.655	0.662	0.670	0.677	0.685	0.693	0.700	0.708	0.715	0.723	100
110	0.723	0.731	0.738	0.746	0.754	0.761	0.769	0.777	0.785	0.792	0.800	110
120	0.800	0.808	0.816	0.824	0.832	0.839	0.847	0.855	0.863	0.871	0.879	120
130	0.879	0.887	0.895	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.943	0.951	0.959	130
140	0.959	0.967	0.976	0.984	0.992	1.000	1.008	1.016	1.025	1.033	1.041	140
150	1.041	1.049	1.058	1.066	1.074	1.082	1.091	1.099	1.107	1.116	1.124	150
160	1.124	1.132	1.141	1.149	1.158	1.166	1.175	1.183	1.191	1.200	1.208	160
170	1.208	1.217	1.225	1.234	1.242	1.251	1.260	1.268	1.277	1.285	1.294	170
180	1.294	1.303	1.311	1.320	1.329	1.337	1.346	1.355	1.363	1.372	1.381	180
190	1.381	1.389	1.398	1.407	1.416	1.425	1.433	1.442	1.451	1.460	1.469	190
200	1.469	1.477	1.486	1.495	1.504	1.513	1.522	1.531	1.540	1.549	1.558	200
210	1.558	1.567	1.575	1.584	1.593	1.602	1.611	1.620	1.629	1.639	1.648	210
220	1.648	1.657	1.666	1.675	1.684	1.693	1.702	1.711	1.720	1.729	1.739	220
230	1.739	1.748	1.757	1.766	1.775	1.784	1.794	1.803	1.812	1.821	1.831	230
240	1.831	1.840	1.849	1.858	1.868	1.877	1.886	1.895	1.905	1.914	1.923	240
250	1.923	1.933	1.942	1.951	1.961	1.970	1.980	1.989	1.998	2.008	2.017	250
260	2.017	2.027	2.036	2.046	2.055	2.064	2.074	2.083	2.093	2.102	2.112	260
270	2.112	2.121	2.131	2.140	2.150	2.159	2.169	2.179	2.188	2.198	2.207	270
280	2.207	2.217	2.226	2.236	2.246	2.255	2.265	2.275	2.284	2.294	2.304	280
290	2.304	2.313	2.323	2.333	2.342	2.352	2.362	2.371	2.381	2.391	2.401	290
300	2.401	2.410	2.420	2.430	2.440	2.449	2.459	2.469	2.479	2.488	2.498	300
310	2.498	2.508	2.518	2.528	2.538	2.547	2.557	2.567	2.577	2.587	2.597	310
320	2.597	2.607	2.617	2.626	2.636	2.646	2.656	2.666	2.676	2.686	2.696	320
330	2.696	2.706	2.716	2.726	2.736	2.746	2.756	2.766	2.776	2.786	2.796	330
340	2.796	2.806	2.816	2.826	2.836	2.846	2.856	2.866	2.876	2.886	2.896	340
350	2.896	2.906	2.916	2.926	2.937	2.947	2.957	2.967	2.977	2.987	2.997	350
360	2.997	3.007	3.018	3.028	3.038	3.048	3.058	3.068	3.079	3.089	3.099	360
370	3.099	3.109	3.119	3.130	3.140	3.150	3.160	3.171	3.181	3.191	3.201	370
380	3.201	3.212	3.222	3.232	3.242	3.253	3.263	3.273	3.284	3.294	3.304	380
390	3.304	3.315	3.325	3.335	3.346	3.356	3.366	3.377	3.387	3.397	3.408	390

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

TABLE 13 Type R Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
400	3.408	3.418	3.428	3.439	3.449	3.460	3.470	3.480	3.491	3.501	3.512	400
410	3.512	3.522	3.533	3.543	3.553	3.564	3.574	3.585	3.595	3.606	3.616	410
420	3.616	3.627	3.637	3.648	3.658	3.669	3.679	3.690	3.700	3.711	3.721	420
430	3.721	3.732	3.742	3.753	3.764	3.774	3.785	3.795	3.806	3.816	3.827	430
440	3.827	3.838	3.848	3.859	3.869	3.880	3.891	3.901	3.912	3.922	3.933	440
450	3.933	3.944	3.954	3.965	3.976	3.986	3.997	4.008	4.018	4.029	4.040	450
460	4.040	4.050	4.061	4.072	4.083	4.093	4.104	4.115	4.125	4.136	4.147	460
470	4.147	4.158	4.168	4.179	4.190	4.201	4.211	4.222	4.233	4.244	4.255	470
480	4.255	4.265	4.276	4.287	4.298	4.309	4.319	4.330	4.341	4.352	4.363	480
490	4.363	4.373	4.384	4.395	4.406	4.417	4.428	4.439	4.449	4.460	4.471	490
500	4.471	4.482	4.493	4.504	4.515	4.526	4.537	4.548	4.558	4.569	4.580	500
510	4.580	4.591	4.602	4.613	4.624	4.635	4.646	4.657	4.668	4.679	4.690	510
520	4.690	4.701	4.712	4.723	4.734	4.745	4.756	4.767	4.778	4.789	4.800	520
530	4.800	4.811	4.822	4.833	4.844	4.855	4.866	4.877	4.888	4.899	4.910	530
540	4.910	4.922	4.933	4.944	4.955	4.966	4.977	4.988	4.999	5.010	5.021	540
550	5.021	5.033	5.044	5.055	5.066	5.077	5.088	5.099	5.111	5.122	5.133	550
560	5.133	5.144	5.155	5.166	5.178	5.189	5.200	5.211	5.222	5.234	5.245	560
570	5.245	5.256	5.267	5.279	5.290	5.301	5.312	5.323	5.335	5.346	5.357	570
580	5.357	5.369	5.380	5.391	5.402	5.414	5.425	5.436	5.448	5.459	5.470	580
590	5.470	5.481	5.493	5.504	5.515	5.527	5.538	5.549	5.561	5.572	5.583	590
600	5.583	5.595	5.606	5.618	5.629	5.640	5.652	5.663	5.674	5.686	5.697	600
610	5.697	5.709	5.720	5.731	5.743	5.754	5.766	5.777	5.789	5.800	5.812	610
620	5.812	5.823	5.834	5.846	5.857	5.869	5.880	5.892	5.903	5.915	5.926	620
630	5.926	5.938	5.949	5.961	5.972	5.984	5.995	6.007	6.018	6.030	6.041	630
640	6.041	6.053	6.065	6.076	6.088	6.099	6.111	6.122	6.134	6.146	6.157	640
650	6.157	6.169	6.180	6.192	6.204	6.215	6.227	6.238	6.250	6.262	6.273	650
660	6.273	6.285	6.297	6.308	6.320	6.332	6.343	6.355	6.367	6.378	6.390	660
670	6.390	6.402	6.413	6.425	6.437	6.448	6.460	6.472	6.484	6.495	6.507	670
680	6.507	6.519	6.531	6.542	6.554	6.566	6.578	6.589	6.601	6.613	6.625	680
690	6.625	6.636	6.648	6.660	6.672	6.684	6.695	6.707	6.719	6.731	6.743	690
700	6.743	6.755	6.766	6.778	6.790	6.802	6.814	6.826	6.838	6.849	6.861	700
710	6.861	6.873	6.885	6.897	6.909	6.921	6.933	6.945	6.956	6.968	6.980	710
720	6.980	6.992	7.004	7.016	7.028	7.040	7.052	7.064	7.076	7.088	7.100	720
730	7.100	7.112	7.124	7.136	7.148	7.160	7.172	7.184	7.196	7.208	7.220	730
740	7.220	7.232	7.244	7.256	7.268	7.280	7.292	7.304	7.316	7.328	7.340	740
750	7.340	7.352	7.364	7.376	7.389	7.401	7.413	7.425	7.437	7.449	7.461	750
760	7.461	7.473	7.485	7.498	7.510	7.522	7.534	7.546	7.558	7.570	7.583	760
770	7.583	7.595	7.607	7.619	7.631	7.644	7.656	7.668	7.680	7.692	7.705	770
780	7.705	7.717	7.729	7.741	7.753	7.766	7.778	7.790	7.802	7.815	7.827	780
790	7.827	7.839	7.851	7.864	7.876	7.888	7.901	7.913	7.925	7.938	7.950	790
800	7.950	7.962	7.974	7.987	7.999	8.011	8.024	8.036	8.048	8.061	8.073	800
810	8.073	8.086	8.098	8.110	8.123	8.135	8.147	8.160	8.172	8.185	8.197	810
820	8.197	8.209	8.222	8.234	8.247	8.259	8.272	8.284	8.296	8.309	8.321	820
830	8.321	8.334	8.346	8.359	8.371	8.384	8.396	8.409	8.421	8.434	8.446	830
840	8.446	8.459	8.471	8.484	8.496	8.509	8.521	8.534	8.546	8.559	8.571	840
850	8.571	8.584	8.597	8.609	8.622	8.634	8.647	8.659	8.672	8.685	8.697	850
860	8.697	8.710	8.722	8.735	8.748	8.760	8.773	8.785	8.798	8.811	8.823	860
870	8.823	8.836	8.849	8.861	8.874	8.887	8.899	8.912	8.925	8.937	8.950	870
880	8.950	8.963	8.975	8.988	9.001	9.014	9.026	9.039	9.052	9.065	9.077	880
890	9.077	9.090	9.103	9.115	9.128	9.141	9.154	9.167	9.179	9.192	9.205	890
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 13 *Type R Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
900	9.205	9.218	9.230	9.243	9.256	9.269	9.282	9.294	9.307	9.320	9.333	900
910	9.333	9.346	9.359	9.371	9.384	9.397	9.410	9.423	9.436	9.449	9.461	910
920	9.461	9.474	9.487	9.500	9.513	9.526	9.539	9.552	9.565	9.578	9.590	920
930	9.590	9.603	9.616	9.629	9.642	9.655	9.668	9.681	9.694	9.707	9.720	930
940	9.720	9.733	9.746	9.759	9.772	9.785	9.798	9.811	9.824	9.837	9.850	940
950	9.850	9.863	9.876	9.889	9.902	9.915	9.928	9.941	9.954	9.967	9.980	950
960	9.980	9.993	10.006	10.019	10.032	10.046	10.059	10.072	10.085	10.098	10.111	960
970	10.111	10.124	10.137	10.150	10.163	10.177	10.190	10.203	10.216	10.229	10.242	970
980	10.242	10.255	10.268	10.282	10.295	10.308	10.321	10.334	10.347	10.361	10.374	980
990	10.374	10.387	10.400	10.413	10.427	10.440	10.453	10.466	10.480	10.493	10.506	990
1000	10.506	10.519	10.532	10.546	10.559	10.572	10.585	10.599	10.612	10.625	10.638	1000
1010	10.638	10.652	10.665	10.678	10.692	10.705	10.718	10.731	10.745	10.758	10.771	1010
1020	10.771	10.785	10.798	10.811	10.825	10.838	10.851	10.865	10.878	10.891	10.905	1020
1030	10.905	10.918	10.932	10.945	10.958	10.972	10.985	10.998	11.012	11.025	11.039	1030
1040	11.039	11.052	11.065	11.079	11.092	11.106	11.119	11.132	11.146	11.159	11.173	1040
1050	11.173	11.186	11.200	11.213	11.227	11.240	11.253	11.267	11.280	11.294	11.307	1050
1060	11.307	11.321	11.334	11.348	11.361	11.375	11.388	11.402	11.415	11.429	11.442	1060
1070	11.442	11.456	11.469	11.483	11.496	11.510	11.524	11.537	11.551	11.564	11.578	1070
1080	11.578	11.591	11.605	11.618	11.632	11.646	11.659	11.673	11.686	11.700	11.714	1080
1090	11.714	11.727	11.741	11.754	11.768	11.782	11.795	11.809	11.822	11.836	11.850	1090
1100	11.850	11.863	11.877	11.891	11.904	11.918	11.931	11.945	11.959	11.972	11.986	1100
1110	11.986	12.000	12.013	12.027	12.041	12.054	12.068	12.082	12.096	12.109	12.123	1110
1120	12.123	12.137	12.150	12.164	12.178	12.191	12.205	12.219	12.233	12.246	12.260	1120
1130	12.260	12.274	12.288	12.301	12.315	12.329	12.342	12.356	12.370	12.384	12.397	1130
1140	12.397	12.411	12.425	12.439	12.453	12.466	12.480	12.494	12.508	12.521	12.535	1140
1150	12.535	12.549	12.563	12.577	12.590	12.604	12.618	12.632	12.646	12.659	12.673	1150
1160	12.673	12.687	12.701	12.715	12.729	12.742	12.756	12.770	12.784	12.798	12.812	1160
1170	12.812	12.825	12.839	12.853	12.867	12.881	12.895	12.909	12.922	12.936	12.950	1170
1180	12.950	12.964	12.978	12.992	13.006	13.019	13.033	13.047	13.061	13.075	13.089	1180
1190	13.089	13.103	13.117	13.131	13.145	13.158	13.172	13.186	13.200	13.214	13.228	1190
1200	13.228	13.242	13.256	13.270	13.284	13.298	13.311	13.325	13.339	13.353	13.367	1200
1210	13.367	13.381	13.395	13.409	13.423	13.437	13.451	13.465	13.479	13.493	13.507	1210
1220	13.507	13.521	13.535	13.549	13.563	13.577	13.590	13.604	13.618	13.632	13.646	1220
1230	13.646	13.660	13.674	13.688	13.702	13.716	13.730	13.744	13.758	13.772	13.786	1230
1240	13.786	13.800	13.814	13.828	13.842	13.856	13.870	13.884	13.898	13.912	13.926	1240
1250	13.926	13.940	13.954	13.968	13.982	13.996	14.010	14.024	14.038	14.052	14.066	1250
1260	14.066	14.081	14.095	14.109	14.123	14.137	14.151	14.165	14.179	14.193	14.207	1260
1270	14.207	14.221	14.235	14.249	14.263	14.277	14.291	14.305	14.319	14.333	14.347	1270
1280	14.347	14.361	14.375	14.390	14.404	14.418	14.432	14.446	14.460	14.474	14.488	1280
1290	14.488	14.502	14.516	14.530	14.544	14.558	14.572	14.586	14.601	14.615	14.629	1290
1300	14.629	14.643	14.657	14.671	14.685	14.699	14.713	14.727	14.741	14.755	14.770	1300
1310	14.770	14.784	14.798	14.812	14.826	14.840	14.854	14.868	14.882	14.896	14.911	1310
1320	14.911	14.925	14.939	14.953	14.967	14.981	14.995	15.009	15.023	15.037	15.052	1320
1330	15.052	15.066	15.080	15.094	15.108	15.122	15.136	15.150	15.164	15.179	15.193	1330
1340	15.193	15.207	15.221	15.235	15.249	15.263	15.277	15.291	15.306	15.320	15.334	1340
1350	15.334	15.348	15.362	15.376	15.390	15.404	15.419	15.433	15.447	15.461	15.475	1350
1360	15.475	15.489	15.503	15.517	15.531	15.546	15.560	15.574	15.588	15.602	15.616	1360
1370	15.616	15.630	15.645	15.659	15.673	15.687	15.701	15.715	15.729	15.743	15.758	1370
1380	15.758	15.772	15.786	15.800	15.814	15.828	15.842	15.856	15.871	15.885	15.899	1380
1390	15.899	15.913	15.927	15.941	15.955	15.969	15.984	15.998	16.012	16.026	16.040	1390

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

TABLE 13 *Type R Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1400	16.040	16.054	16.068	16.082	16.097	16.111	16.125	16.139	16.153	16.167	16.181	1400
1410	16.181	16.196	16.210	16.224	16.238	16.252	16.266	16.280	16.294	16.309	16.323	1410
1420	16.323	16.337	16.351	16.365	16.379	16.393	16.407	16.422	16.436	16.450	16.464	1420
1430	16.464	16.478	16.492	16.506	16.520	16.534	16.549	16.563	16.577	16.591	16.605	1430
1440	16.605	16.619	16.633	16.647	16.662	16.676	16.690	16.704	16.718	16.732	16.746	1440
1450	16.746	16.760	16.774	16.789	16.803	16.817	16.831	16.845	16.859	16.873	16.887	1450
1460	16.887	16.901	16.915	16.930	16.944	16.958	16.972	16.986	17.000	17.014	17.028	1460
1470	17.028	17.042	17.056	17.071	17.085	17.099	17.113	17.127	17.141	17.155	17.169	1470
1480	17.169	17.183	17.197	17.211	17.225	17.240	17.254	17.268	17.282	17.296	17.310	1480
1490	17.310	17.324	17.338	17.352	17.366	17.380	17.394	17.408	17.423	17.437	17.451	1490
1500	17.451	17.465	17.479	17.493	17.507	17.521	17.535	17.549	17.563	17.577	17.591	1500
1510	17.591	17.605	17.619	17.633	17.647	17.661	17.676	17.690	17.704	17.718	17.732	1510
1520	17.732	17.746	17.760	17.774	17.788	17.802	17.816	17.830	17.844	17.858	17.872	1520
1530	17.872	17.886	17.900	17.914	17.928	17.942	17.956	17.970	17.984	17.998	18.012	1530
1540	18.012	18.026	18.040	18.054	18.068	18.082	18.096	18.110	18.124	18.138	18.152	1540
1550	18.152	18.166	18.180	18.194	18.208	18.222	18.236	18.250	18.264	18.278	18.292	1550
1560	18.292	18.306	18.320	18.334	18.348	18.362	18.376	18.390	18.404	18.417	18.431	1560
1570	18.431	18.445	18.459	18.473	18.487	18.501	18.515	18.529	18.543	18.557	18.571	1570
1580	18.571	18.585	18.599	18.613	18.627	18.640	18.654	18.668	18.682	18.696	18.710	1580
1590	18.710	18.724	18.738	18.752	18.766	18.779	18.793	18.807	18.821	18.835	18.849	1590
1600	18.849	18.863	18.877	18.891	18.904	18.918	18.932	18.946	18.960	18.974	18.988	1600
1610	18.988	19.002	19.015	19.029	19.043	19.057	19.071	19.085	19.098	19.112	19.126	1610
1620	19.126	19.140	19.154	19.168	19.181	19.195	19.209	19.223	19.237	19.250	19.264	1620
1630	19.264	19.278	19.292	19.306	19.319	19.333	19.347	19.361	19.375	19.388	19.402	1630
1640	19.402	19.416	19.430	19.444	19.457	19.471	19.485	19.499	19.512	19.526	19.540	1640
1650	19.540	19.554	19.567	19.581	19.595	19.609	19.622	19.636	19.650	19.663	19.677	1650
1660	19.677	19.691	19.705	19.718	19.732	19.746	19.759	19.773	19.787	19.800	19.814	1660
1670	19.814	19.828	19.841	19.855	19.869	19.882	19.896	19.910	19.923	19.937	19.951	1670
1680	19.951	19.964	19.978	19.992	20.005	20.019	20.032	20.046	20.060	20.073	20.087	1680
1690	20.087	20.100	20.114	20.127	20.141	20.154	20.168	20.181	20.195	20.208	20.222	1690
1700	20.222	20.235	20.249	20.262	20.275	20.289	20.302	20.316	20.329	20.342	20.356	1700
1710	20.356	20.369	20.382	20.396	20.409	20.422	20.436	20.449	20.462	20.475	20.488	1710
1720	20.488	20.502	20.515	20.528	20.541	20.554	20.567	20.581	20.594	20.607	20.620	1720
1730	20.620	20.633	20.646	20.659	20.672	20.685	20.698	20.711	20.724	20.736	20.749	1730
1740	20.749	20.762	20.775	20.788	20.801	20.813	20.826	20.839	20.852	20.864	20.877	1740
1750	20.877	20.890	20.902	20.915	20.928	20.940	20.953	20.965	20.978	20.990	21.003	1750
1760	21.003	21.015	21.027	21.040	21.052	21.065	21.077	21.089	21.101			1760

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C

TABLE 15 *Type S Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-50	-0.236											-50
-40	-0.194	-0.199	-0.203	-0.207	-0.211	-0.215	-0.219	-0.224	-0.228	-0.232	-0.236	-40
-30	-0.150	-0.155	-0.159	-0.164	-0.168	-0.173	-0.177	-0.181	-0.186	-0.190	-0.194	-30
-20	-0.103	-0.108	-0.113	-0.117	-0.122	-0.127	-0.132	-0.136	-0.141	-0.146	-0.150	-20
-10	-0.053	-0.058	-0.063	-0.068	-0.073	-0.078	-0.083	-0.088	-0.093	-0.098	-0.103	-10
0	0.000	-0.005	-0.011	-0.016	-0.021	-0.027	-0.032	-0.037	-0.042	-0.048	-0.053	0
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050	0.055	0
10	0.055	0.061	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.095	0.101	0.107	0.113	10
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.173	20
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.204	0.210	0.216	0.222	0.229	0.235	30
40	0.235	0.241	0.248	0.254	0.260	0.267	0.273	0.280	0.286	0.292	0.299	40
50	0.299	0.305	0.312	0.319	0.325	0.332	0.338	0.345	0.352	0.358	0.365	50
60	0.365	0.372	0.378	0.385	0.392	0.399	0.405	0.412	0.419	0.426	0.433	60
70	0.433	0.440	0.446	0.453	0.460	0.467	0.474	0.481	0.488	0.495	0.502	70
80	0.502	0.509	0.516	0.523	0.530	0.538	0.545	0.552	0.559	0.566	0.573	80
90	0.573	0.580	0.588	0.595	0.602	0.609	0.617	0.624	0.631	0.639	0.646	90
100	0.646	0.653	0.661	0.668	0.675	0.683	0.690	0.698	0.705	0.713	0.720	100
110	0.720	0.727	0.735	0.743	0.750	0.758	0.765	0.773	0.780	0.788	0.795	110
120	0.795	0.803	0.811	0.818	0.826	0.834	0.841	0.849	0.857	0.865	0.872	120
130	0.872	0.880	0.888	0.896	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.942	0.950	130
140	0.950	0.958	0.966	0.974	0.982	0.990	0.998	1.006	1.013	1.021	1.029	140
150	1.029	1.037	1.045	1.053	1.061	1.069	1.077	1.085	1.094	1.102	1.110	150
160	1.110	1.118	1.126	1.134	1.142	1.150	1.158	1.167	1.175	1.183	1.191	160
170	1.191	1.199	1.207	1.216	1.224	1.232	1.240	1.249	1.257	1.265	1.273	170
180	1.273	1.282	1.290	1.298	1.307	1.315	1.323	1.332	1.340	1.348	1.357	180
190	1.357	1.365	1.373	1.382	1.390	1.399	1.407	1.415	1.424	1.432	1.441	190
200	1.441	1.449	1.458	1.466	1.475	1.483	1.492	1.500	1.509	1.517	1.526	200
210	1.526	1.534	1.543	1.551	1.560	1.569	1.577	1.586	1.594	1.603	1.612	210
220	1.612	1.620	1.629	1.638	1.646	1.655	1.663	1.672	1.681	1.690	1.698	220
230	1.698	1.707	1.716	1.724	1.733	1.742	1.751	1.759	1.768	1.777	1.786	230
240	1.786	1.794	1.803	1.812	1.821	1.829	1.838	1.847	1.856	1.865	1.874	240
250	1.874	1.882	1.891	1.900	1.909	1.918	1.927	1.936	1.944	1.953	1.962	250
260	1.962	1.971	1.980	1.989	1.998	2.007	2.016	2.025	2.034	2.043	2.052	260
270	2.052	2.061	2.070	2.078	2.087	2.096	2.105	2.114	2.123	2.132	2.141	270
280	2.141	2.151	2.160	2.169	2.178	2.187	2.196	2.205	2.214	2.223	2.232	280
290	2.232	2.241	2.250	2.259	2.268	2.277	2.287	2.296	2.305	2.314	2.323	290
300	2.323	2.332	2.341	2.350	2.360	2.369	2.378	2.387	2.396	2.405	2.415	300
310	2.415	2.424	2.433	2.442	2.451	2.461	2.470	2.479	2.488	2.497	2.507	310
320	2.507	2.516	2.525	2.534	2.544	2.553	2.562	2.571	2.581	2.590	2.599	320
330	2.599	2.609	2.618	2.627	2.636	2.646	2.655	2.664	2.674	2.683	2.692	330
340	2.692	2.702	2.711	2.720	2.730	2.739	2.748	2.758	2.767	2.776	2.786	340
350	2.786	2.795	2.805	2.814	2.823	2.833	2.842	2.851	2.861	2.870	2.880	350
360	2.880	2.889	2.899	2.908	2.917	2.927	2.936	2.946	2.955	2.965	2.974	360
370	2.974	2.983	2.993	3.002	3.012	3.021	3.031	3.040	3.050	3.059	3.069	370
380	3.069	3.078	3.088	3.097	3.107	3.116	3.126	3.135	3.145	3.154	3.164	380
390	3.164	3.173	3.183	3.192	3.202	3.212	3.221	3.231	3.240	3.250	3.259	390

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C



TABLE 15 *Type S Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
400	3.259	3.269	3.279	3.288	3.298	3.307	3.317	3.326	3.336	3.346	3.355	400
410	3.355	3.365	3.374	3.384	3.394	3.403	3.413	3.423	3.432	3.442	3.451	410
420	3.451	3.461	3.471	3.480	3.490	3.500	3.509	3.519	3.529	3.538	3.548	420
430	3.548	3.558	3.567	3.577	3.587	3.596	3.606	3.616	3.626	3.635	3.645	430
440	3.645	3.655	3.664	3.674	3.684	3.694	3.703	3.713	3.723	3.732	3.742	440
450	3.742	3.752	3.762	3.771	3.781	3.791	3.801	3.810	3.820	3.830	3.840	450
460	3.840	3.850	3.859	3.869	3.879	3.889	3.898	3.908	3.918	3.928	3.938	460
470	3.938	3.947	3.957	3.967	3.977	3.987	3.997	4.006	4.016	4.026	4.036	470
480	4.036	4.046	4.056	4.065	4.075	4.085	4.095	4.105	4.115	4.125	4.134	480
490	4.134	4.144	4.154	4.164	4.174	4.184	4.194	4.204	4.213	4.223	4.233	490
500	4.233	4.243	4.253	4.263	4.273	4.283	4.293	4.303	4.313	4.323	4.332	500
510	4.332	4.342	4.352	4.362	4.372	4.382	4.392	4.402	4.412	4.422	4.432	510
520	4.432	4.442	4.452	4.462	4.472	4.482	4.492	4.502	4.512	4.522	4.532	520
530	4.532	4.542	4.552	4.562	4.572	4.582	4.592	4.602	4.612	4.622	4.632	530
540	4.632	4.642	4.652	4.662	4.672	4.682	4.692	4.702	4.712	4.722	4.732	540
550	4.732	4.742	4.752	4.762	4.772	4.782	4.793	4.803	4.813	4.823	4.833	550
560	4.833	4.843	4.853	4.863	4.873	4.883	4.893	4.904	4.914	4.924	4.934	560
570	4.934	4.944	4.954	4.964	4.974	4.984	4.995	5.005	5.015	5.025	5.035	570
580	5.035	5.045	5.055	5.066	5.076	5.086	5.096	5.106	5.116	5.127	5.137	580
590	5.137	5.147	5.157	5.167	5.178	5.188	5.198	5.208	5.218	5.228	5.239	590
600	5.239	5.249	5.259	5.269	5.280	5.290	5.300	5.310	5.320	5.331	5.341	600
610	5.341	5.351	5.361	5.372	5.382	5.392	5.402	5.413	5.423	5.433	5.443	610
620	5.443	5.454	5.464	5.474	5.485	5.495	5.505	5.515	5.526	5.536	5.546	620
630	5.546	5.557	5.567	5.577	5.588	5.598	5.608	5.618	5.629	5.639	5.649	630
640	5.649	5.660	5.670	5.680	5.691	5.701	5.712	5.722	5.732	5.743	5.753	640
650	5.753	5.763	5.774	5.784	5.794	5.805	5.815	5.826	5.836	5.846	5.857	650
660	5.857	5.867	5.878	5.888	5.898	5.909	5.919	5.930	5.940	5.950	5.961	660
670	5.961	5.971	5.982	5.992	6.003	6.013	6.024	6.034	6.044	6.055	6.065	670
680	6.065	6.076	6.086	6.097	6.107	6.118	6.128	6.139	6.149	6.160	6.170	680
690	6.170	6.181	6.191	6.202	6.212	6.223	6.233	6.244	6.254	6.265	6.275	690
700	6.275	6.286	6.296	6.307	6.317	6.328	6.338	6.349	6.360	6.370	6.381	700
710	6.381	6.391	6.402	6.412	6.423	6.434	6.444	6.455	6.465	6.476	6.486	710
720	6.486	6.497	6.508	6.518	6.529	6.539	6.550	6.561	6.571	6.582	6.593	720
730	6.593	6.603	6.614	6.624	6.635	6.646	6.656	6.667	6.678	6.688	6.699	730
740	6.699	6.710	6.720	6.731	6.742	6.752	6.763	6.774	6.784	6.795	6.806	740
750	6.806	6.817	6.827	6.838	6.849	6.859	6.870	6.881	6.892	6.902	6.913	750
760	6.913	6.924	6.934	6.945	6.956	6.967	6.977	6.988	6.999	7.010	7.020	760
770	7.020	7.031	7.042	7.053	7.064	7.074	7.085	7.096	7.107	7.117	7.128	770
780	7.128	7.139	7.150	7.161	7.172	7.182	7.193	7.204	7.215	7.226	7.236	780
790	7.236	7.247	7.258	7.269	7.280	7.291	7.302	7.312	7.323	7.334	7.345	790
800	7.345	7.356	7.367	7.378	7.388	7.399	7.410	7.421	7.432	7.443	7.454	800
810	7.454	7.465	7.476	7.487	7.497	7.508	7.519	7.530	7.541	7.552	7.563	810
820	7.563	7.574	7.585	7.596	7.607	7.618	7.629	7.640	7.651	7.662	7.673	820
830	7.673	7.684	7.695	7.706	7.717	7.728	7.739	7.750	7.761	7.772	7.783	830
840	7.783	7.794	7.805	7.816	7.827	7.838	7.849	7.860	7.871	7.882	7.893	840
850	7.893	7.904	7.915	7.926	7.937	7.948	7.959	7.970	7.981	7.992	8.003	850
860	8.003	8.014	8.026	8.037	8.048	8.059	8.070	8.081	8.092	8.103	8.114	860
870	8.114	8.125	8.137	8.148	8.159	8.170	8.181	8.192	8.203	8.214	8.226	870
880	8.226	8.237	8.248	8.259	8.270	8.281	8.293	8.304	8.315	8.326	8.337	880
890	8.337	8.348	8.360	8.371	8.382	8.393	8.404	8.416	8.427	8.438	8.449	890
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 15 Type S Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
900	8.449	8.460	8.472	8.483	8.494	8.505	8.517	8.528	8.539	8.550	8.562	900
910	8.562	8.573	8.584	8.595	8.607	8.618	8.629	8.640	8.652	8.663	8.674	910
920	8.674	8.685	8.697	8.708	8.719	8.731	8.742	8.753	8.765	8.776	8.787	920
930	8.787	8.798	8.810	8.821	8.832	8.844	8.855	8.866	8.878	8.889	8.900	930
940	8.900	8.912	8.923	8.935	8.946	8.957	8.969	8.980	8.991	9.003	9.014	940
950	9.014	9.025	9.037	9.048	9.060	9.071	9.082	9.094	9.105	9.117	9.128	950
960	9.128	9.139	9.151	9.162	9.174	9.185	9.197	9.208	9.219	9.231	9.242	960
970	9.242	9.254	9.265	9.277	9.288	9.300	9.311	9.323	9.334	9.345	9.357	970
980	9.357	9.368	9.380	9.391	9.403	9.414	9.426	9.437	9.449	9.460	9.472	980
990	9.472	9.483	9.495	9.506	9.518	9.529	9.541	9.552	9.564	9.576	9.587	990
1000	9.587	9.599	9.610	9.622	9.633	9.645	9.656	9.668	9.680	9.691	9.703	1000
1010	9.703	9.714	9.726	9.737	9.749	9.761	9.772	9.784	9.795	9.807	9.819	1010
1020	9.819	9.830	9.842	9.853	9.865	9.877	9.888	9.900	9.911	9.923	9.935	1020
1030	9.935	9.946	9.958	9.970	9.981	9.993	10.005	10.016	10.028	10.040	10.051	1030
1040	10.051	10.063	10.075	10.086	10.098	10.110	10.121	10.133	10.145	10.156	10.168	1040
1050	10.168	10.180	10.191	10.203	10.215	10.227	10.238	10.250	10.262	10.273	10.285	1050
1060	10.285	10.297	10.309	10.320	10.332	10.344	10.356	10.367	10.379	10.391	10.403	1060
1070	10.403	10.414	10.426	10.438	10.450	10.461	10.473	10.485	10.497	10.509	10.520	1070
1080	10.520	10.532	10.544	10.556	10.567	10.579	10.591	10.603	10.615	10.626	10.638	1080
1090	10.638	10.650	10.662	10.674	10.686	10.697	10.709	10.721	10.733	10.745	10.757	1090
1100	10.757	10.768	10.780	10.792	10.804	10.816	10.828	10.839	10.851	10.863	10.875	1100
1110	10.875	10.887	10.899	10.911	10.922	10.934	10.946	10.958	10.970	10.982	10.994	1110
1120	10.994	11.006	11.017	11.029	11.041	11.053	11.065	11.077	11.089	11.101	11.113	1120
1130	11.113	11.125	11.136	11.148	11.160	11.172	11.184	11.196	11.208	11.220	11.232	1130
1140	11.232	11.244	11.256	11.268	11.280	11.291	11.303	11.315	11.327	11.339	11.351	1140
1150	11.351	11.363	11.375	11.387	11.399	11.411	11.423	11.435	11.447	11.459	11.471	1150
1160	11.471	11.483	11.495	11.507	11.519	11.531	11.542	11.554	11.566	11.578	11.590	1160
1170	11.590	11.602	11.614	11.626	11.638	11.650	11.662	11.674	11.686	11.698	11.710	1170
1180	11.710	11.722	11.734	11.746	11.758	11.770	11.782	11.794	11.806	11.818	11.830	1180
1190	11.830	11.842	11.854	11.866	11.878	11.890	11.902	11.914	11.926	11.939	11.951	1190
1200	11.951	11.963	11.975	11.987	11.999	12.011	12.023	12.035	12.047	12.059	12.071	1200
1210	12.071	12.083	12.095	12.107	12.119	12.131	12.143	12.155	12.167	12.179	12.191	1210
1220	12.191	12.203	12.216	12.228	12.240	12.252	12.264	12.276	12.288	12.300	12.312	1220
1230	12.312	12.324	12.336	12.348	12.360	12.372	12.384	12.397	12.409	12.421	12.433	1230
1240	12.433	12.445	12.457	12.469	12.481	12.493	12.505	12.517	12.529	12.542	12.554	1240
1250	12.554	12.566	12.578	12.590	12.602	12.614	12.626	12.638	12.650	12.662	12.675	1250
1260	12.675	12.687	12.699	12.711	12.723	12.735	12.747	12.759	12.771	12.783	12.796	1260
1270	12.796	12.808	12.820	12.832	12.844	12.856	12.868	12.880	12.892	12.905	12.917	1270
1280	12.917	12.929	12.941	12.953	12.965	12.977	12.989	13.001	13.014	13.026	13.038	1280
1290	13.038	13.050	13.062	13.074	13.086	13.098	13.111	13.123	13.135	13.147	13.159	1290
1300	13.159	13.171	13.183	13.195	13.208	13.220	13.232	13.244	13.256	13.268	13.280	1300
1310	13.280	13.292	13.305	13.317	13.329	13.341	13.353	13.365	13.377	13.390	13.402	1310
1320	13.402	13.414	13.426	13.438	13.450	13.462	13.474	13.487	13.499	13.511	13.523	1320
1330	13.523	13.535	13.547	13.559	13.572	13.584	13.596	13.608	13.620	13.632	13.644	1330
1340	13.644	13.657	13.669	13.681	13.693	13.705	13.717	13.729	13.742	13.754	13.766	1340
1350	13.766	13.778	13.790	13.802	13.814	13.826	13.839	13.851	13.863	13.875	13.887	1350
1360	13.887	13.899	13.911	13.924	13.936	13.948	13.960	13.972	13.984	13.996	14.009	1360
1370	14.009	14.021	14.033	14.045	14.057	14.069	14.081	14.094	14.106	14.118	14.130	1370
1380	14.130	14.142	14.154	14.166	14.178	14.191	14.203	14.215	14.227	14.239	14.251	1380
1390	14.251	14.263	14.276	14.288	14.300	14.312	14.324	14.336	14.348	14.360	14.373	1390
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 15 *Type S Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1400	14.373	14.385	14.397	14.409	14.421	14.433	14.445	14.457	14.470	14.482	14.494	1400
1410	14.494	14.506	14.518	14.530	14.542	14.554	14.567	14.579	14.591	14.603	14.615	1410
1420	14.615	14.627	14.639	14.651	14.664	14.676	14.688	14.700	14.712	14.724	14.736	1420
1430	14.736	14.748	14.760	14.773	14.785	14.797	14.809	14.821	14.833	14.845	14.857	1430
1440	14.857	14.869	14.881	14.894	14.906	14.918	14.930	14.942	14.954	14.966	14.978	1440
1450	14.978	14.990	15.002	15.015	15.027	15.039	15.051	15.063	15.075	15.087	15.099	1450
1460	15.099	15.111	15.123	15.135	15.148	15.160	15.172	15.184	15.196	15.208	15.220	1460
1470	15.220	15.232	15.244	15.256	15.268	15.280	15.292	15.304	15.317	15.329	15.341	1470
1480	15.341	15.353	15.365	15.377	15.389	15.401	15.413	15.425	15.437	15.449	15.461	1480
1490	15.461	15.473	15.485	15.497	15.509	15.521	15.534	15.546	15.558	15.570	15.582	1490
1500	15.582	15.594	15.606	15.618	15.630	15.642	15.654	15.666	15.678	15.690	15.702	1500
1510	15.702	15.714	15.726	15.738	15.750	15.762	15.774	15.786	15.798	15.810	15.822	1510
1520	15.822	15.834	15.846	15.858	15.870	15.882	15.894	15.906	15.918	15.930	15.942	1520
1530	15.942	15.954	15.966	15.978	15.990	16.002	16.014	16.026	16.038	16.050	16.062	1530
1540	16.062	16.074	16.086	16.098	16.110	16.122	16.134	16.146	16.158	16.170	16.182	1540
1550	16.182	16.194	16.205	16.217	16.229	16.241	16.253	16.265	16.277	16.289	16.301	1550
1560	16.301	16.313	16.325	16.337	16.349	16.361	16.373	16.385	16.396	16.408	16.420	1560
1570	16.420	16.432	16.444	16.456	16.468	16.480	16.492	16.504	16.516	16.527	16.539	1570
1580	16.539	16.551	16.563	16.575	16.587	16.599	16.611	16.623	16.634	16.646	16.658	1580
1590	16.658	16.670	16.682	16.694	16.706	16.718	16.729	16.741	16.753	16.765	16.777	1590
1600	16.777	16.789	16.801	16.812	16.824	16.836	16.848	16.860	16.872	16.883	16.895	1600
1610	16.895	16.907	16.919	16.931	16.943	16.954	16.966	16.978	16.990	17.002	17.013	1610
1620	17.013	17.025	17.037	17.049	17.061	17.072	17.084	17.096	17.108	17.120	17.131	1620
1630	17.131	17.143	17.155	17.167	17.178	17.190	17.202	17.214	17.225	17.237	17.249	1630
1640	17.249	17.261	17.272	17.284	17.296	17.308	17.319	17.331	17.343	17.355	17.366	1640
1650	17.366	17.378	17.390	17.401	17.413	17.425	17.437	17.448	17.460	17.472	17.483	1650
1660	17.483	17.495	17.507	17.518	17.530	17.542	17.553	17.565	17.577	17.588	17.600	1660
1670	17.600	17.612	17.623	17.635	17.647	17.658	17.670	17.682	17.693	17.705	17.717	1670
1680	17.717	17.728	17.740	17.751	17.763	17.775	17.786	17.798	17.809	17.821	17.832	1680
1690	17.832	17.844	17.855	17.867	17.878	17.890	17.901	17.913	17.924	17.936	17.947	1690
1700	17.947	17.959	17.970	17.982	17.993	18.004	18.016	18.027	18.039	18.050	18.061	1700
1710	18.061	18.073	18.084	18.095	18.107	18.118	18.129	18.140	18.152	18.163	18.174	1710
1720	18.174	18.185	18.196	18.208	18.219	18.230	18.241	18.252	18.263	18.274	18.285	1720
1730	18.285	18.297	18.308	18.319	18.330	18.341	18.352	18.362	18.373	18.384	18.395	1730
1740	18.395	18.406	18.417	18.428	18.439	18.449	18.460	18.471	18.482	18.493	18.503	1740
1750	18.503	18.514	18.525	18.535	18.546	18.557	18.567	18.578	18.588	18.599	18.609	1750
1760	18.609	18.620	18.630	18.641	18.651	18.661	18.672	18.682	18.693			1760

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C



TABLE 17 *Type T Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-6.258											-270
-260	-6.232	-6.236	-6.239	-6.242	-6.245	-6.248	-6.251	-6.253	-6.255	-6.256	-6.258	-260
-250	-6.180	-6.187	-6.193	-6.198	-6.204	-6.209	-6.214	-6.219	-6.223	-6.228	-6.232	-250
-240	-6.105	-6.114	-6.122	-6.130	-6.138	-6.146	-6.153	-6.160	-6.167	-6.174	-6.180	-240
-230	-6.007	-6.017	-6.028	-6.038	-6.049	-6.059	-6.068	-6.078	-6.087	-6.096	-6.105	-230
-220	-5.888	-5.901	-5.914	-5.926	-5.938	-5.950	-5.962	-5.973	-5.985	-5.996	-6.007	-220
-210	-5.753	-5.767	-5.782	-5.795	-5.809	-5.823	-5.836	-5.850	-5.863	-5.876	-5.888	-210
-200	-5.603	-5.619	-5.634	-5.650	-5.665	-5.680	-5.695	-5.710	-5.724	-5.739	-5.753	-200
-190	-5.439	-5.456	-5.473	-5.489	-5.506	-5.523	-5.539	-5.555	-5.571	-5.587	-5.603	-190
-180	-5.261	-5.279	-5.297	-5.316	-5.334	-5.351	-5.369	-5.387	-5.404	-5.421	-5.439	-180
-170	-5.070	-5.089	-5.109	-5.128	-5.148	-5.167	-5.186	-5.205	-5.224	-5.242	-5.261	-170
-160	-4.865	-4.886	-4.907	-4.928	-4.949	-4.969	-4.989	-5.010	-5.030	-5.050	-5.070	-160
-150	-4.648	-4.671	-4.693	-4.715	-4.737	-4.759	-4.780	-4.802	-4.823	-4.844	-4.865	-150
-140	-4.419	-4.443	-4.466	-4.489	-4.512	-4.535	-4.558	-4.581	-4.604	-4.626	-4.648	-140
-130	-4.177	-4.202	-4.226	-4.251	-4.275	-4.300	-4.324	-4.348	-4.372	-4.395	-4.419	-130
-120	-3.923	-3.949	-3.975	-4.000	-4.026	-4.052	-4.077	-4.102	-4.127	-4.152	-4.177	-120
-110	-3.657	-3.684	-3.711	-3.738	-3.765	-3.791	-3.818	-3.844	-3.871	-3.897	-3.923	-110
-100	-3.379	-3.407	-3.435	-3.463	-3.491	-3.519	-3.547	-3.574	-3.602	-3.629	-3.657	-100
-90	-3.089	-3.118	-3.148	-3.177	-3.206	-3.235	-3.264	-3.293	-3.322	-3.350	-3.379	-90
-80	-2.788	-2.818	-2.849	-2.879	-2.910	-2.940	-2.970	-3.000	-3.030	-3.059	-3.089	-80
-70	-2.476	-2.507	-2.539	-2.571	-2.602	-2.633	-2.664	-2.695	-2.726	-2.757	-2.788	-70
-60	-2.153	-2.186	-2.218	-2.251	-2.283	-2.316	-2.348	-2.380	-2.412	-2.444	-2.476	-60
-50	-1.819	-1.853	-1.887	-1.920	-1.954	-1.987	-2.021	-2.054	-2.087	-2.120	-2.153	-50
-40	-1.475	-1.510	-1.545	-1.579	-1.614	-1.648	-1.683	-1.717	-1.751	-1.785	-1.819	-40
-30	-1.121	-1.157	-1.192	-1.228	-1.264	-1.299	-1.335	-1.370	-1.405	-1.440	-1.475	-30
-20	-0.757	-0.794	-0.830	-0.867	-0.904	-0.940	-0.976	-1.013	-1.049	-1.085	-1.121	-20
-10	-0.383	-0.421	-0.459	-0.496	-0.534	-0.571	-0.608	-0.646	-0.683	-0.720	-0.757	-10
0	0.000	-0.039	-0.077	-0.116	-0.154	-0.193	-0.231	-0.269	-0.307	-0.345	-0.383	0
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391	0
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790	10
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196	20
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612	30
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036	40
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468	50
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909	60
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358	70
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814	80
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279	90
100	4.279	4.325	4.372	4.419	4.466	4.513	4.561	4.608	4.655	4.702	4.750	100
110	4.750	4.798	4.845	4.893	4.941	4.988	5.036	5.084	5.132	5.180	5.228	110
120	5.228	5.277	5.325	5.373	5.422	5.470	5.519	5.567	5.616	5.665	5.714	120
130	5.714	5.763	5.812	5.861	5.910	5.959	6.008	6.057	6.107	6.156	6.206	130
140	6.206	6.255	6.305	6.355	6.404	6.454	6.504	6.554	6.604	6.654	6.704	140
150	6.704	6.754	6.805	6.855	6.905	6.956	7.006	7.057	7.107	7.158	7.209	150
160	7.209	7.260	7.310	7.361	7.412	7.463	7.515	7.566	7.617	7.668	7.720	160
170	7.720	7.771	7.823	7.874	7.926	7.977	8.029	8.081	8.133	8.185	8.237	170
180	8.237	8.289	8.341	8.393	8.445	8.497	8.550	8.602	8.654	8.707	8.759	180
190	8.759	8.812	8.865	8.917	8.970	9.023	9.076	9.129	9.182	9.235	9.288	190

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C

TABLE 17 Type T Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
200	9.288	9.341	9.395	9.448	9.501	9.555	9.608	9.662	9.715	9.769	9.822	200
210	9.822	9.876	9.930	9.984	10.038	10.092	10.146	10.200	10.254	10.308	10.362	210
220	10.362	10.417	10.471	10.525	10.580	10.634	10.689	10.743	10.798	10.853	10.907	220
230	10.907	10.962	11.017	11.072	11.127	11.182	11.237	11.292	11.347	11.403	11.458	230
240	11.458	11.513	11.569	11.624	11.680	11.735	11.791	11.846	11.902	11.958	12.013	240
250	12.013	12.069	12.125	12.181	12.237	12.293	12.349	12.405	12.461	12.518	12.574	250
260	12.574	12.630	12.687	12.743	12.799	12.856	12.912	12.969	13.026	13.082	13.139	260
270	13.139	13.196	13.253	13.310	13.366	13.423	13.480	13.537	13.595	13.652	13.709	270
280	13.709	13.766	13.823	13.881	13.938	13.995	14.053	14.110	14.168	14.226	14.283	280
290	14.283	14.341	14.399	14.456	14.514	14.572	14.630	14.688	14.746	14.804	14.862	290
300	14.862	14.920	14.978	15.036	15.095	15.153	15.211	15.270	15.328	15.386	15.445	300
310	15.445	15.503	15.562	15.621	15.679	15.738	15.797	15.856	15.914	15.973	16.032	310
320	16.032	16.091	16.150	16.209	16.268	16.327	16.387	16.446	16.505	16.564	16.624	320
330	16.624	16.683	16.742	16.802	16.861	16.921	16.980	17.040	17.100	17.159	17.219	330
340	17.219	17.279	17.339	17.399	17.458	17.518	17.578	17.638	17.698	17.759	17.819	340
350	17.819	17.879	17.939	17.999	18.060	18.120	18.180	18.241	18.301	18.362	18.422	350
360	18.422	18.483	18.543	18.604	18.665	18.725	18.786	18.847	18.908	18.969	19.030	360
370	19.030	19.091	19.152	19.213	19.274	19.335	19.396	19.457	19.518	19.579	19.641	370
380	19.641	19.702	19.763	19.825	19.886	19.947	20.009	20.070	20.132	20.193	20.255	380
390	20.255	20.317	20.378	20.440	20.502	20.563	20.625	20.687	20.748	20.810	20.872	390
400	20.872											400

TABLE 21 *Type C Thermocouple*—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
0	0.000	0.013	0.027	0.040	0.054	0.067	0.081	0.094	0.108	0.122	0.135	0
10	0.135	0.149	0.163	0.176	0.190	0.204	0.218	0.231	0.245	0.259	0.273	10
20	0.273	0.287	0.301	0.315	0.329	0.342	0.356	0.370	0.385	0.399	0.413	20
30	0.413	0.427	0.441	0.455	0.469	0.483	0.498	0.512	0.526	0.540	0.555	30
40	0.555	0.569	0.583	0.598	0.612	0.627	0.641	0.656	0.670	0.685	0.699	40
50	0.699	0.714	0.728	0.743	0.757	0.772	0.787	0.801	0.816	0.831	0.846	50
60	0.846	0.860	0.875	0.890	0.905	0.920	0.934	0.949	0.964	0.979	0.994	60
70	0.994	1.009	1.024	1.039	1.054	1.069	1.084	1.099	1.114	1.129	1.145	70
80	1.145	1.160	1.175	1.190	1.205	1.221	1.236	1.251	1.266	1.282	1.297	80
90	1.297	1.312	1.328	1.343	1.359	1.374	1.389	1.405	1.420	1.436	1.451	90
100	1.451	1.467	1.483	1.498	1.514	1.529	1.545	1.561	1.576	1.592	1.608	100
110	1.608	1.624	1.639	1.655	1.671	1.687	1.702	1.718	1.734	1.750	1.766	110
120	1.766	1.782	1.798	1.814	1.830	1.846	1.862	1.878	1.894	1.910	1.926	120
130	1.926	1.942	1.958	1.974	1.990	2.006	2.023	2.039	2.055	2.071	2.087	130
140	2.087	2.104	2.120	2.136	2.152	2.169	2.185	2.201	2.218	2.234	2.251	140
150	2.251	2.267	2.283	2.300	2.316	2.333	2.349	2.366	2.382	2.399	2.415	150
160	2.415	2.432	2.449	2.465	2.482	2.498	2.515	2.532	2.548	2.565	2.582	160
170	2.582	2.599	2.615	2.632	2.649	2.666	2.682	2.699	2.716	2.733	2.750	170
180	2.750	2.767	2.784	2.800	2.817	2.834	2.851	2.868	2.885	2.902	2.919	180
190	2.919	2.936	2.953	2.970	2.987	3.004	3.021	3.039	3.056	3.073	3.090	190
200	3.090	3.107	3.124	3.141	3.159	3.176	3.193	3.210	3.228	3.245	3.262	200
210	3.262	3.279	3.297	3.314	3.331	3.349	3.366	3.383	3.401	3.418	3.436	210
220	3.436	3.453	3.470	3.488	3.505	3.523	3.540	3.558	3.575	3.593	3.610	220
230	3.610	3.628	3.645	3.663	3.680	3.698	3.716	3.733	3.751	3.768	3.786	230
240	3.786	3.804	3.821	3.839	3.857	3.875	3.892	3.910	3.928	3.945	3.963	240
250	3.963	3.981	3.999	4.017	4.034	4.052	4.070	4.088	4.106	4.124	4.141	250
260	4.141	4.159	4.177	4.195	4.213	4.231	4.249	4.267	4.285	4.303	4.321	260
270	4.321	4.339	4.357	4.375	4.393	4.411	4.429	4.447	4.465	4.483	4.501	270
280	4.501	4.519	4.537	4.555	4.573	4.592	4.610	4.628	4.646	4.664	4.682	280
290	4.682	4.701	4.719	4.737	4.755	4.773	4.792	4.810	4.828	4.846	4.865	290
300	4.865	4.883	4.901	4.920	4.938	4.956	4.974	4.993	5.011	5.030	5.048	300
310	5.048	5.066	5.085	5.103	5.121	5.140	5.158	5.177	5.195	5.214	5.232	310
320	5.232	5.250	5.269	5.287	5.306	5.324	5.343	5.361	5.380	5.398	5.417	320
330	5.417	5.435	5.454	5.473	5.491	5.510	5.528	5.547	5.565	5.584	5.603	330
340	5.603	5.621	5.640	5.658	5.677	5.696	5.714	5.733	5.752	5.770	5.789	340
350	5.789	5.808	5.827	5.845	5.864	5.883	5.901	5.920	5.939	5.958	5.976	350
360	5.976	5.995	6.014	6.033	6.051	6.070	6.089	6.108	6.127	6.145	6.164	360
370	6.164	6.183	6.202	6.221	6.240	6.259	6.277	6.296	6.315	6.334	6.353	370
380	6.353	6.372	6.391	6.410	6.429	6.447	6.466	6.485	6.504	6.523	6.542	380
390	6.542	6.561	6.580	6.599	6.618	6.637	6.656	6.675	6.694	6.713	6.732	390
400	6.732	6.751	6.770	6.789	6.808	6.827	6.846	6.865	6.884	6.903	6.922	400
410	6.922	6.941	6.961	6.980	6.999	7.018	7.037	7.056	7.075	7.094	7.113	410
420	7.113	7.132	7.152	7.171	7.190	7.209	7.228	7.247	7.267	7.286	7.305	420
430	7.305	7.324	7.343	7.362	7.382	7.401	7.420	7.439	7.458	7.478	7.497	430
440	7.497	7.516	7.535	7.554	7.574	7.593	7.612	7.631	7.651	7.670	7.689	440
450	7.689	7.708	7.728	7.747	7.766	7.786	7.805	7.824	7.843	7.863	7.882	450
460	7.882	7.901	7.921	7.940	7.959	7.979	7.998	8.017	8.037	8.056	8.075	460
470	8.075	8.095	8.114	8.133	8.153	8.172	8.191	8.211	8.230	8.249	8.269	470
480	8.269	8.288	8.308	8.327	8.346	8.366	8.385	8.404	8.424	8.443	8.463	480
490	8.463	8.482	8.502	8.521	8.540	8.560	8.579	8.599	8.618	8.637	8.657	490
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 21 *Type C Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
500	8.657	8.676	8.696	8.715	8.735	8.754	8.774	8.793	8.812	8.832	8.851	500
510	8.851	8.871	8.890	8.910	8.929	8.949	8.968	8.988	9.007	9.027	9.046	510
520	9.046	9.066	9.085	9.105	9.124	9.144	9.163	9.183	9.202	9.222	9.241	520
530	9.241	9.261	9.280	9.300	9.319	9.339	9.358	9.378	9.397	9.417	9.436	530
540	9.436	9.456	9.475	9.495	9.514	9.534	9.553	9.573	9.592	9.612	9.631	540
550	9.631	9.651	9.670	9.690	9.710	9.729	9.749	9.768	9.788	9.807	9.827	550
560	9.827	9.846	9.866	9.885	9.905	9.925	9.944	9.964	9.983	10.003	10.022	560
570	10.022	10.042	10.061	10.081	10.100	10.120	10.140	10.159	10.179	10.198	10.218	570
580	10.218	10.237	10.257	10.276	10.296	10.316	10.335	10.355	10.374	10.394	10.413	580
590	10.413	10.433	10.452	10.472	10.491	10.511	10.531	10.550	10.570	10.589	10.609	590
600	10.609	10.628	10.648	10.667	10.687	10.706	10.726	10.746	10.765	10.785	10.804	600
610	10.804	10.824	10.843	10.863	10.882	10.902	10.921	10.941	10.960	10.980	10.999	610
620	10.999	11.019	11.038	11.058	11.077	11.097	11.117	11.136	11.156	11.175	11.195	620
630	11.195	11.214	11.234	11.253	11.273	11.292	11.312	11.331	11.351	11.370	11.390	630
640	11.390	11.409	11.429	11.448	11.468	11.487	11.507	11.526	11.546	11.565	11.585	640
650	11.585	11.604	11.624	11.643	11.663	11.682	11.702	11.721	11.741	11.760	11.780	650
660	11.780	11.799	11.818	11.838	11.857	11.877	11.896	11.916	11.935	11.955	11.974	660
670	11.974	11.994	12.013	12.033	12.052	12.072	12.091	12.111	12.130	12.150	12.169	670
680	12.169	12.189	12.208	12.228	12.247	12.267	12.286	12.306	12.325	12.344	12.364	680
690	12.364	12.383	12.403	12.422	12.442	12.461	12.481	12.500	12.520	12.539	12.559	690
700	12.559	12.578	12.597	12.617	12.636	12.656	12.675	12.695	12.714	12.734	12.753	700
710	12.753	12.772	12.792	12.811	12.831	12.850	12.870	12.889	12.908	12.928	12.947	710
720	12.947	12.967	12.986	13.006	13.025	13.044	13.064	13.083	13.103	13.122	13.141	720
730	13.141	13.161	13.180	13.200	13.219	13.238	13.258	13.277	13.297	13.316	13.335	730
740	13.335	13.355	13.374	13.393	13.413	13.432	13.452	13.471	13.490	13.510	13.529	740
750	13.529	13.548	13.568	13.587	13.606	13.626	13.645	13.665	13.684	13.703	13.723	750
760	13.723	13.742	13.761	13.781	13.800	13.819	13.839	13.858	13.877	13.896	13.916	760
770	13.916	13.935	13.954	13.974	13.993	14.012	14.032	14.051	14.070	14.089	14.109	770
780	14.109	14.128	14.147	14.167	14.186	14.205	14.224	14.244	14.263	14.282	14.301	780
790	14.301	14.321	14.340	14.359	14.378	14.398	14.417	14.436	14.455	14.475	14.494	790
800	14.494	14.513	14.532	14.551	14.571	14.590	14.609	14.628	14.647	14.667	14.686	800
810	14.686	14.705	14.724	14.743	14.763	14.782	14.801	14.820	14.839	14.858	14.878	810
820	14.878	14.897	14.916	14.935	14.954	14.973	14.993	15.012	15.031	15.050	15.069	820
830	15.069	15.088	15.107	15.126	15.146	15.165	15.184	15.203	15.222	15.241	15.260	830
840	15.260	15.279	15.298	15.317	15.336	15.356	15.375	15.394	15.413	15.432	15.451	840
850	15.451	15.470	15.489	15.508	15.527	15.546	15.565	15.584	15.603	15.622	15.641	850
860	15.641	15.660	15.679	15.698	15.717	15.736	15.755	15.774	15.793	15.812	15.831	860
870	15.831	15.850	15.869	15.888	15.907	15.926	15.945	15.964	15.983	16.002	16.021	870
880	16.021	16.040	16.058	16.077	16.096	16.115	16.134	16.153	16.172	16.191	16.210	880
890	16.210	16.229	16.248	16.266	16.285	16.304	16.323	16.342	16.361	16.380	16.398	890
900	16.398	16.417	16.436	16.455	16.474	16.493	16.511	16.530	16.549	16.568	16.587	900
910	16.587	16.606	16.624	16.643	16.662	16.681	16.699	16.718	16.737	16.756	16.775	910
920	16.775	16.793	16.812	16.831	16.850	16.868	16.887	16.906	16.924	16.943	16.962	920
930	16.962	16.981	16.999	17.018	17.037	17.055	17.074	17.093	17.111	17.130	17.149	930
940	17.149	17.167	17.186	17.205	17.223	17.242	17.261	17.279	17.298	17.317	17.335	940
950	17.335	17.354	17.373	17.391	17.410	17.428	17.447	17.465	17.484	17.503	17.521	950
960	17.521	17.540	17.558	17.577	17.595	17.614	17.633	17.651	17.670	17.688	17.707	960
970	17.707	17.725	17.744	17.762	17.781	17.799	17.818	17.836	17.855	17.873	17.892	970
980	17.892	17.910	17.929	17.947	17.966	17.984	18.002	18.021	18.039	18.058	18.076	980
990	18.076	18.095	18.113	18.131	18.150	18.168	18.187	18.205	18.223	18.242	18.260	990
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 21 *Type C Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1000	18.260	18.279	18.297	18.315	18.334	18.352	18.370	18.389	18.407	18.425	18.444	1000
1010	18.444	18.462	18.480	18.499	18.517	18.535	18.553	18.572	18.590	18.608	18.627	1010
1020	18.627	18.645	18.663	18.681	18.700	18.718	18.736	18.754	18.773	18.791	18.809	1020
1030	18.809	18.827	18.845	18.864	18.882	18.900	18.918	18.936	18.955	18.973	18.991	1030
1040	18.991	19.009	19.027	19.045	19.064	19.082	19.100	19.118	19.136	19.154	19.172	1040
1050	19.172	19.190	19.208	19.227	19.245	19.263	19.281	19.299	19.317	19.335	19.353	1050
1060	19.353	19.371	19.389	19.407	19.425	19.443	19.461	19.479	19.497	19.515	19.533	1060
1070	19.533	19.551	19.569	19.587	19.605	19.623	19.641	19.659	19.677	19.695	19.713	1070
1080	19.713	19.731	19.749	19.767	19.785	19.803	19.821	19.839	19.856	19.874	19.892	1080
1090	19.892	19.910	19.928	19.946	19.964	19.982	19.999	20.017	20.035	20.053	20.071	1090
1100	20.071	20.089	20.106	20.124	20.142	20.160	20.178	20.195	20.213	20.231	20.249	1100
1110	20.249	20.267	20.284	20.302	20.320	20.338	20.355	20.373	20.391	20.409	20.426	1110
1120	20.426	20.444	20.462	20.479	20.497	20.515	20.532	20.550	20.568	20.585	20.603	1120
1130	20.603	20.621	20.638	20.656	20.674	20.691	20.709	20.727	20.744	20.762	20.779	1130
1140	20.779	20.797	20.815	20.832	20.850	20.867	20.885	20.902	20.920	20.938	20.955	1140
1150	20.955	20.973	20.990	21.008	21.025	21.043	21.060	21.078	21.095	21.113	21.130	1150
1160	21.130	21.148	21.165	21.183	21.200	21.218	21.235	21.253	21.270	21.287	21.305	1160
1170	21.305	21.322	21.340	21.357	21.375	21.392	21.409	21.427	21.444	21.461	21.479	1170
1180	21.479	21.496	21.514	21.531	21.548	21.566	21.583	21.600	21.618	21.635	21.652	1180
1190	21.652	21.670	21.687	21.704	21.721	21.739	21.756	21.773	21.790	21.808	21.825	1190
1200	21.825	21.842	21.859	21.877	21.894	21.911	21.928	21.946	21.963	21.980	21.997	1200
1210	21.997	22.014	22.032	22.049	22.066	22.083	22.100	22.117	22.135	22.152	22.169	1210
1220	22.169	22.186	22.203	22.220	22.237	22.254	22.271	22.289	22.306	22.323	22.340	1220
1230	22.340	22.357	22.374	22.391	22.408	22.425	22.442	22.459	22.476	22.493	22.510	1230
1240	22.510	22.527	22.544	22.561	22.578	22.595	22.612	22.629	22.646	22.663	22.680	1240
1250	22.680	22.697	22.714	22.731	22.748	22.765	22.782	22.799	22.815	22.832	22.849	1250
1260	22.849	22.866	22.883	22.900	22.917	22.934	22.950	22.967	22.984	23.001	23.018	1260
1270	23.018	23.035	23.052	23.068	23.085	23.102	23.119	23.136	23.152	23.169	23.186	1270
1280	23.186	23.203	23.219	23.236	23.253	23.270	23.286	23.303	23.320	23.337	23.353	1280
1290	23.353	23.370	23.387	23.403	23.420	23.437	23.453	23.470	23.487	23.503	23.520	1290
1300	23.520	23.537	23.553	23.570	23.587	23.603	23.620	23.636	23.653	23.670	23.686	1300
1310	23.686	23.703	23.719	23.736	23.753	23.769	23.786	23.802	23.819	23.835	23.852	1310
1320	23.852	23.868	23.885	23.901	23.918	23.934	23.951	23.967	23.984	24.000	24.017	1320
1330	24.017	24.033	24.050	24.066	24.083	24.099	24.116	24.132	24.148	24.165	24.181	1330
1340	24.181	24.198	24.214	24.230	24.247	24.263	24.280	24.296	24.312	24.329	24.345	1340
1350	24.345	24.361	24.378	24.394	24.410	24.427	24.443	24.459	24.476	24.492	24.508	1350
1360	24.508	24.524	24.541	24.557	24.573	24.590	24.606	24.622	24.638	24.655	24.671	1360
1370	24.671	24.687	24.703	24.719	24.736	24.752	24.768	24.784	24.800	24.817	24.833	1370
1380	24.833	24.849	24.865	24.881	24.897	24.913	24.930	24.946	24.962	24.978	24.994	1380
1390	24.994	25.010	25.026	25.042	25.058	25.075	25.091	25.107	25.123	25.139	25.155	1390
1400	25.155	25.171	25.187	25.203	25.219	25.235	25.251	25.267	25.283	25.299	25.315	1400
1410	25.315	25.331	25.347	25.363	25.379	25.395	25.411	25.427	25.443	25.459	25.475	1410
1420	25.475	25.490	25.506	25.522	25.538	25.554	25.570	25.586	25.602	25.618	25.633	1420
1430	25.633	25.649	25.665	25.681	25.697	25.713	25.729	25.744	25.760	25.776	25.792	1430
1440	25.792	25.808	25.823	25.839	25.855	25.871	25.886	25.902	25.918	25.934	25.949	1440
1450	25.949	25.965	25.981	25.997	26.012	26.028	26.044	26.060	26.075	26.091	26.107	1450
1460	26.107	26.122	26.138	26.154	26.169	26.185	26.201	26.216	26.232	26.248	26.263	1460
1470	26.263	26.279	26.294	26.310	26.326	26.341	26.357	26.372	26.388	26.403	26.419	1470
1480	26.419	26.435	26.450	26.466	26.481	26.497	26.512	26.528	26.543	26.559	26.574	1480
1490	26.574	26.590	26.605	26.621	26.636	26.652	26.667	26.683	26.698	26.714	26.729	1490
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



TABLE 21 *Type C Thermocouple* — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1500	26.729	26.744	26.760	26.775	26.791	26.806	26.822	26.837	26.852	26.868	26.883	1500
1510	26.883	26.899	26.914	26.929	26.945	26.960	26.975	26.991	27.006	27.021	27.037	1510
1520	27.037	27.052	27.067	27.083	27.098	27.113	27.128	27.144	27.159	27.174	27.190	1520
1530	27.190	27.205	27.220	27.235	27.250	27.266	27.281	27.296	27.311	27.327	27.342	1530
1540	27.342	27.357	27.372	27.387	27.403	27.418	27.433	27.448	27.463	27.478	27.493	1540
1550	27.493	27.509	27.524	27.539	27.554	27.569	27.584	27.599	27.614	27.629	27.645	1550
1560	27.645	27.660	27.675	27.690	27.705	27.720	27.735	27.750	27.765	27.780	27.795	1560
1570	27.795	27.810	27.825	27.840	27.855	27.870	27.885	27.900	27.915	27.930	27.945	1570
1580	27.945	27.960	27.975	27.990	28.005	28.020	28.034	28.049	28.064	28.079	28.094	1580
1590	28.094	28.109	28.124	28.139	28.154	28.169	28.183	28.198	28.213	28.228	28.243	1590
1600	28.243	28.258	28.272	28.287	28.302	28.317	28.332	28.346	28.361	28.376	28.391	1600
1610	28.391	28.406	28.420	28.435	28.450	28.465	28.479	28.494	28.509	28.524	28.538	1610
1620	28.538	28.553	28.568	28.582	28.597	28.612	28.626	28.641	28.656	28.670	28.685	1620
1630	28.685	28.700	28.714	28.729	28.744	28.758	28.773	28.787	28.802	28.817	28.831	1630
1640	28.831	28.846	28.860	28.875	28.890	28.904	28.919	28.933	28.948	28.962	28.977	1640
1650	28.977	28.991	29.006	29.020	29.035	29.049	29.064	29.078	29.093	29.107	29.122	1650
1660	29.122	29.136	29.151	29.165	29.180	29.194	29.209	29.223	29.237	29.252	29.266	1660
1670	29.266	29.281	29.295	29.309	29.324	29.338	29.353	29.367	29.381	29.396	29.410	1670
1680	29.410	29.424	29.439	29.453	29.467	29.482	29.496	29.510	29.525	29.539	29.553	1680
1690	29.553	29.567	29.582	29.596	29.610	29.625	29.639	29.653	29.667	29.681	29.696	1690
1700	29.696	29.710	29.724	29.738	29.753	29.767	29.781	29.795	29.809	29.823	29.838	1700
1710	29.838	29.852	29.866	29.880	29.894	29.908	29.922	29.937	29.951	29.965	29.979	1710
1720	29.979	29.993	30.007	30.021	30.035	30.049	30.063	30.077	30.091	30.106	30.120	1720
1730	30.120	30.134	30.148	30.162	30.176	30.190	30.204	30.218	30.232	30.246	30.260	1730
1740	30.260	30.274	30.288	30.302	30.315	30.329	30.343	30.357	30.371	30.385	30.399	1740
1750	30.399	30.413	30.427	30.441	30.455	30.469	30.482	30.496	30.510	30.524	30.538	1750
1760	30.538	30.552	30.565	30.579	30.593	30.607	30.621	30.635	30.648	30.662	30.676	1760
1770	30.676	30.690	30.704	30.717	30.731	30.745	30.759	30.772	30.786	30.800	30.813	1770
1780	30.813	30.827	30.841	30.855	30.868	30.882	30.896	30.909	30.923	30.937	30.950	1780
1790	30.950	30.964	30.978	30.991	31.005	31.019	31.032	31.046	31.059	31.073	31.087	1790
1800	31.087	31.100	31.114	31.127	31.141	31.154	31.168	31.182	31.195	31.209	31.222	1800
1810	31.222	31.236	31.249	31.263	31.276	31.290	31.303	31.317	31.330	31.344	31.357	1810
1820	31.357	31.371	31.384	31.397	31.411	31.424	31.438	31.451	31.465	31.478	31.491	1820
1830	31.491	31.505	31.518	31.532	31.545	31.558	31.572	31.585	31.598	31.612	31.625	1830
1840	31.625	31.638	31.652	31.665	31.678	31.692	31.705	31.718	31.731	31.745	31.758	1840
1850	31.758	31.771	31.784	31.798	31.811	31.824	31.837	31.851	31.864	31.877	31.890	1850
1860	31.890	31.903	31.917	31.930	31.943	31.956	31.969	31.982	31.996	32.009	32.022	1860
1870	32.022	32.035	32.048	32.061	32.074	32.087	32.101	32.114	32.127	32.140	32.153	1870
1880	32.153	32.166	32.179	32.192	32.205	32.218	32.231	32.244	32.257	32.270	32.283	1880
1890	32.283	32.296	32.309	32.322	32.335	32.348	32.361	32.374	32.387	32.400	32.413	1890
1900	32.413	32.426	32.439	32.451	32.464	32.477	32.490	32.503	32.516	32.529	32.542	1900
1910	32.542	32.554	32.567	32.580	32.593	32.606	32.619	32.631	32.644	32.657	32.670	1910
1920	32.670	32.683	32.695	32.708	32.721	32.734	32.746	32.759	32.772	32.784	32.797	1920
1930	32.797	32.810	32.823	32.835	32.848	32.861	32.873	32.886	32.899	32.911	32.924	1930
1940	32.924	32.937	32.949	32.962	32.974	32.987	33.000	33.012	33.025	33.037	33.050	1940
1950	33.050	33.063	33.075	33.088	33.100	33.113	33.125	33.138	33.150	33.163	33.175	1950
1960	33.175	33.188	33.200	33.213	33.225	33.238	33.250	33.263	33.275	33.287	33.300	1960
1970	33.300	33.312	33.325	33.337	33.350	33.362	33.374	33.387	33.399	33.411	33.424	1970
1980	33.424	33.436	33.448	33.461	33.473	33.485	33.498	33.510	33.522	33.535	33.547	1980
1990	33.547	33.559	33.571	33.584	33.596	33.608	33.620	33.632	33.645	33.657	33.669	1990
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

TABLE 21 *Type C Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
2000	33.669	33.681	33.693	33.706	33.718	33.730	33.742	33.754	33.766	33.779	33.791	2000
2010	33.791	33.803	33.815	33.827	33.839	33.851	33.863	33.875	33.887	33.899	33.911	2010
2020	33.911	33.923	33.936	33.948	33.960	33.972	33.984	33.996	34.008	34.019	34.031	2020
2030	34.031	34.043	34.055	34.067	34.079	34.091	34.103	34.115	34.127	34.139	34.151	2030
2040	34.151	34.163	34.174	34.186	34.198	34.210	34.222	34.234	34.245	34.257	34.269	2040
2050	34.269	34.281	34.293	34.304	34.316	34.328	34.340	34.351	34.363	34.375	34.387	2050
2060	34.387	34.398	34.410	34.422	34.433	34.445	34.457	34.468	34.480	34.492	34.503	2060
2070	34.503	34.515	34.527	34.538	34.550	34.561	34.573	34.585	34.596	34.608	34.619	2070
2080	34.619	34.631	34.642	34.654	34.665	34.677	34.688	34.700	34.711	34.723	34.734	2080
2090	34.734	34.746	34.757	34.769	34.780	34.792	34.803	34.814	34.826	34.837	34.849	2090
2100	34.849	34.860	34.871	34.883	34.894	34.905	34.917	34.928	34.939	34.951	34.962	2100
2110	34.962	34.973	34.984	34.996	35.007	35.018	35.029	35.041	35.052	35.063	35.074	2110
2120	35.074	35.085	35.097	35.108	35.119	35.130	35.141	35.152	35.164	35.175	35.186	2120
2130	35.186	35.197	35.208	35.219	35.230	35.241	35.252	35.263	35.274	35.285	35.296	2130
2140	35.296	35.307	35.318	35.329	35.340	35.351	35.362	35.373	35.384	35.395	35.406	2140
2150	35.406	35.417	35.428	35.439	35.450	35.461	35.472	35.482	35.493	35.504	35.515	2150
2160	35.515	35.526	35.537	35.547	35.558	35.569	35.580	35.591	35.601	35.612	35.623	2160
2170	35.623	35.634	35.644	35.655	35.666	35.676	35.687	35.698	35.708	35.719	35.730	2170
2180	35.730	35.740	35.751	35.762	35.772	35.783	35.793	35.804	35.814	35.825	35.836	2180
2190	35.836	35.846	35.857	35.867	35.878	35.888	35.899	35.909	35.920	35.930	35.940	2190
2200	35.940	35.951	35.961	35.972	35.982	35.993	36.003	36.013	36.024	36.034	36.044	2200
2210	36.044	36.055	36.065	36.075	36.086	36.096	36.106	36.116	36.127	36.137	36.147	2210
2220	36.147	36.157	36.168	36.178	36.188	36.198	36.208	36.219	36.229	36.239	36.249	2220
2230	36.249	36.259	36.269	36.279	36.289	36.300	36.310	36.320	36.330	36.340	36.350	2230
2240	36.350	36.360	36.370	36.380	36.390	36.400	36.410	36.420	36.430	36.440	36.449	2240
2250	36.449	36.459	36.469	36.479	36.489	36.499	36.509	36.519	36.528	36.538	36.548	2250
2260	36.548	36.558	36.568	36.577	36.587	36.597	36.607	36.616	36.626	36.636	36.645	2260
2270	36.645	36.655	36.665	36.675	36.684	36.694	36.703	36.713	36.723	36.732	36.742	2270
2280	36.742	36.751	36.761	36.771	36.780	36.790	36.799	36.809	36.818	36.828	36.837	2280
2290	36.837	36.846	36.856	36.865	36.875	36.884	36.894	36.903	36.912	36.922	36.931	2290
2300	36.931	36.940	36.950	36.959	36.968	36.978	36.987	36.996	37.005	37.015	37.024	2300
2310	37.024	37.033	37.042	37.051	37.061	37.070						

ภาคผนวก (ค)
DS1820 DATASHEET

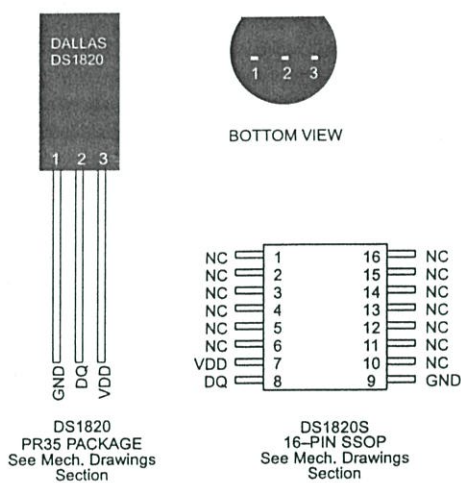
DALLAS SEMICONDUCTOR

DS1820 1-Wire™ Digital Thermometer

FEATURES

- Unique 1-Wire™ interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ in 0.5°C increments. Fahrenheit equivalent is -67°F to $+257^{\circ}\text{F}$ in 0.9°F increments
- Temperature is read as a 9-bit digital value.
- Converts temperature to digital word in 200 ms (typ.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND	-	Ground
DQ	-	Data In/Out
V _{DD}	-	Optional V _{DD}
NC	-	No Connect

DESCRIPTION

The DS1820 Digital Thermometer provides 9-bit temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS1820 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS1820. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS1820 contains a unique silicon serial number, multiple DS1820s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and in process monitoring and control.

DETAILED PIN DESCRIPTION

PIN 16-PIN SSOP	PIN PR35	SYMBOL	DESCRIPTION
9	1	GND	Ground.
8	2	DQ	Data Input/Output pin. For 1-Wire operation: Open drain. (See "Parasite Power" section.)
7	3	V _{DD}	Optional V _{DD} pin. See "Parasite Power" section for details of connection.

DS1820S (16-pin SSOP): All pins not specified in this table are not to be connected.

OVERVIEW

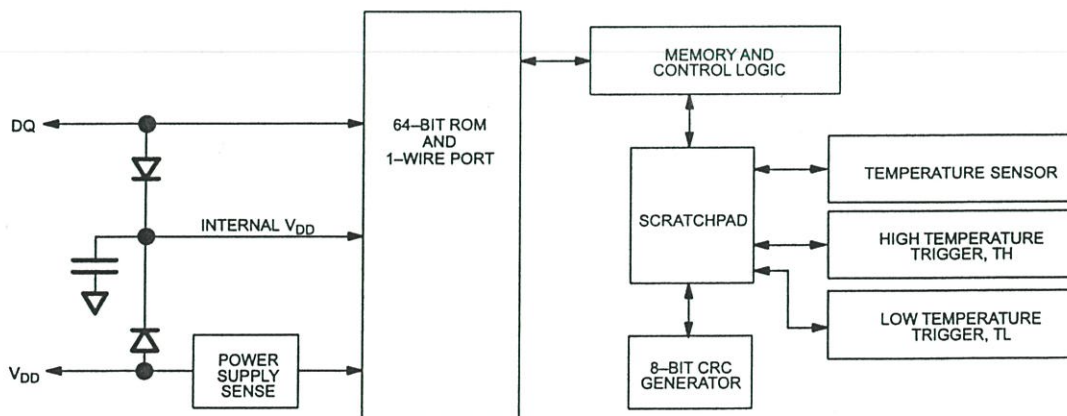
The block diagram of Figure 1 shows the major components of the DS1820. The DS1820 has three main data components: 1) 64-bit lasered ROM, 2) temperature sensor, and 3) nonvolatile temperature alarm triggers TH and TL. The device derives its power from the 1-Wire communication line by storing energy on an internal capacitor during periods of time when the signal line is high and continues to operate off this power source during the low times of the 1-Wire line until it returns high to replenish the parasite (capacitor) supply. As an alternative, the DS1820 may also be powered from an external 5 volts supply.

Communication to the DS1820 is via a 1-Wire port. With the 1-Wire port, the memory and control functions will not be available before the ROM function protocol has been established. The master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. These commands operate on the 64-bit lasered ROM portion of each device and can single out

a specific device if many are present on the 1-Wire line as well as indicate to the Bus Master how many and what types of devices are present. After a ROM function sequence has been successfully executed, the memory and control functions are accessible and the master may then provide any one of the six memory and control function commands.

One control function command instructs the DS1820 to perform a temperature measurement. The result of this measurement will be placed in the DS1820's scratchpad memory, and may be read by issuing a memory function command which reads the contents of the scratchpad memory. The temperature alarm triggers TH and TL consist of one byte EEPROM each. If the alarm search command is not applied to the DS1820, these registers may be used as general purpose user memory. Writing TH and TL is done using a memory function command. Read access to these registers is through the scratchpad. All data is read and written least significant bit first.

DS1820 BLOCK DIAGRAM Figure 1



PARASITE POWER

The block diagram (Figure 1) shows the parasite powered circuitry. This circuitry "steals" power whenever the I/O or V_{DD} pins are high. I/O will provide sufficient power as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the section titled "1-Wire Bus System"). The advantages of parasite power are two-fold: 1) by parasiting off this pin, no local power source is needed for remote sensing of temperature, and 2) the ROM may be read in absence of normal power.

In order for the DS1820 to be able to perform accurate temperature conversions, sufficient power must be provided over the I/O line when a temperature conversion is taking place. Since the operating current of the DS1820 is up to 1 mA, the I/O line will not have sufficient drive due to the 5K pull-up resistor. This problem is particularly acute if several DS1820's are on the same I/O and attempting to convert simultaneously.

There are two ways to assure that the DS1820 has sufficient supply current during its active conversion cycle. The first is to provide a strong pull-up on the I/O line whenever temperature conversions or copies to the E^2 memory are taking place. This may be accomplished by using a MOSFET to pull the I/O line directly to the power supply as shown in Figure 2. The I/O line must be switched over to the strong pull-up within 10 μ s maximum after issuing any protocol that involves copying to the E^2 memory or initiates temperature conversions. When using the parasite power mode, the V_{DD} pin must be tied to ground.

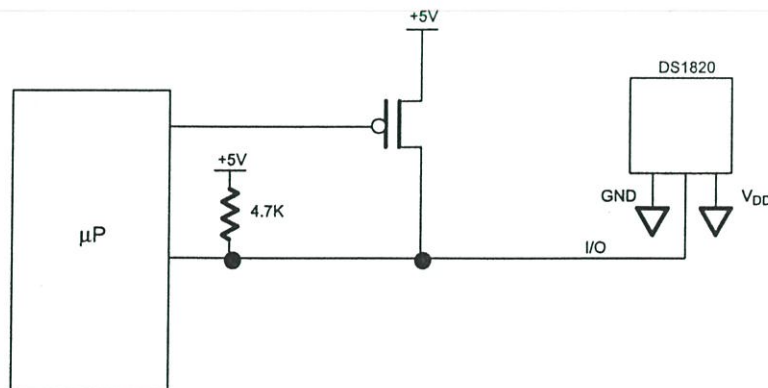
Another method of supplying current to the DS1820 is through the use of an external power supply tied to the

V_{DD} pin, as shown in Figure 3. The advantage to this is that the strong pull-up is not required on the I/O line, and the bus master need not be tied up holding that line high during temperature conversions. This allows other data traffic on the 1-Wire bus during the conversion time. In addition, any number of DS1820's may be placed on the 1-Wire bus, and if they all use external power, they may all simultaneously perform temperature conversions by issuing the Skip ROM command and then issuing the Convert T command. Note that as long as the external power supply is active, the GND pin may not be floating.

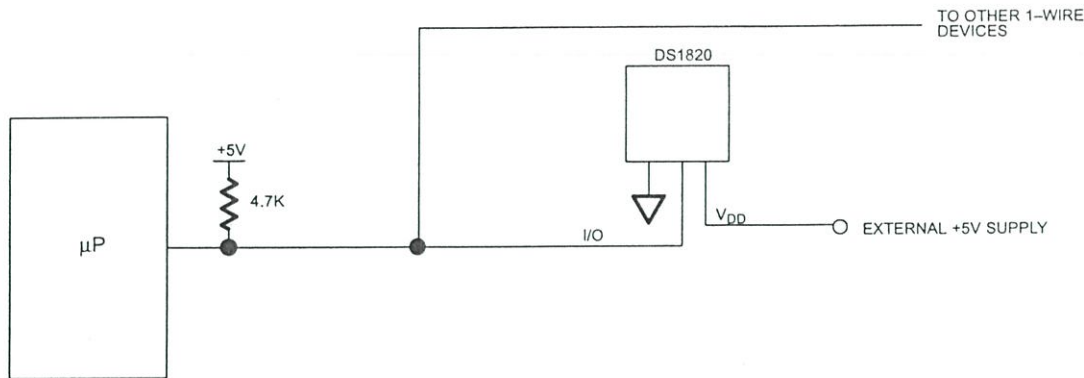
The use of parasite power is not recommended above 100°C, since it may not be able to sustain communications given the higher leakage currents the DS1820 exhibits at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that V_{DD} be applied to the DS1820.

For situations where the bus master does not know whether the DS1820's on the bus are parasite powered or supplied with external V_{DD} , a provision is made in the DS1820 to signal the power supply scheme used. The bus master can determine if any DS1820's are on the bus which require the strong pull-up by sending a Skip ROM protocol, then issuing the read power supply command. After this command is issued, the master then issues read time slots. The DS1820 will send back "0" on the 1-Wire bus if it is parasite powered; it will send back a "1" if it is powered from the V_{DD} pin. If the master receives a "0", it knows that it must supply the strong pull-up on the I/O line during temperature conversions. See "Memory Command Functions" section for more detail on this command protocol.

STRONG PULL-UP FOR SUPPLYING DS1820 DURING TEMPERATURE CONVERSION Figure 2



USING V_{DD} TO SUPPLY TEMPERATURE CONVERSION CURRENT Figure 3



OPERATION – MEASURING TEMPERATURE

The DS1820 measures temperature through the use of an on-board proprietary temperature measurement technique. A block diagram of the temperature measurement circuitry is shown in Figure 4.

The DS1820 measures temperature by counting the number of clock cycles that an oscillator with a low temperature coefficient goes through during a gate period determined by a high temperature coefficient oscillator. The counter is preset with a base count that corresponds to -55°C . If the counter reaches zero before the gate period is over, the temperature register, which is also preset to the -55°C value, is incremented, indicating that the temperature is higher than -55°C .

At the same time, the counter is then preset with a value determined by the slope accumulator circuitry. This circuitry is needed to compensate for the parabolic behavior of the oscillators over temperature. The counter is then clocked again until it reaches zero. If the gate period is still not finished, then this process repeats.

The slope accumulator is used to compensate for the non-linear behavior of the oscillators over temperature, yielding a high resolution temperature measurement. This is done by changing the number of counts necessary for the counter to go through for each incremental degree in temperature. To obtain the desired resolution, therefore, both the value of the counter and the number of counts per degree C (the value of the slope accumulator) at a given temperature must be known.

Internally, this calculation is done inside the DS1820 to provide 0.5°C resolution. The temperature reading is

provided in a 16-bit, sign-extended two's complement reading. Table 1 describes the exact relationship of output data to measured temperature. The data is transmitted serially over the 1-Wire interface. The DS1820 can measure temperature over the range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ in 0.5°C increments. For Fahrenheit usage, a lookup table or conversion factor must be used.

Note that temperature is represented in the DS1820 in terms of a $1/2^{\circ}\text{C}$ LSB, yielding the following 9-bit format:

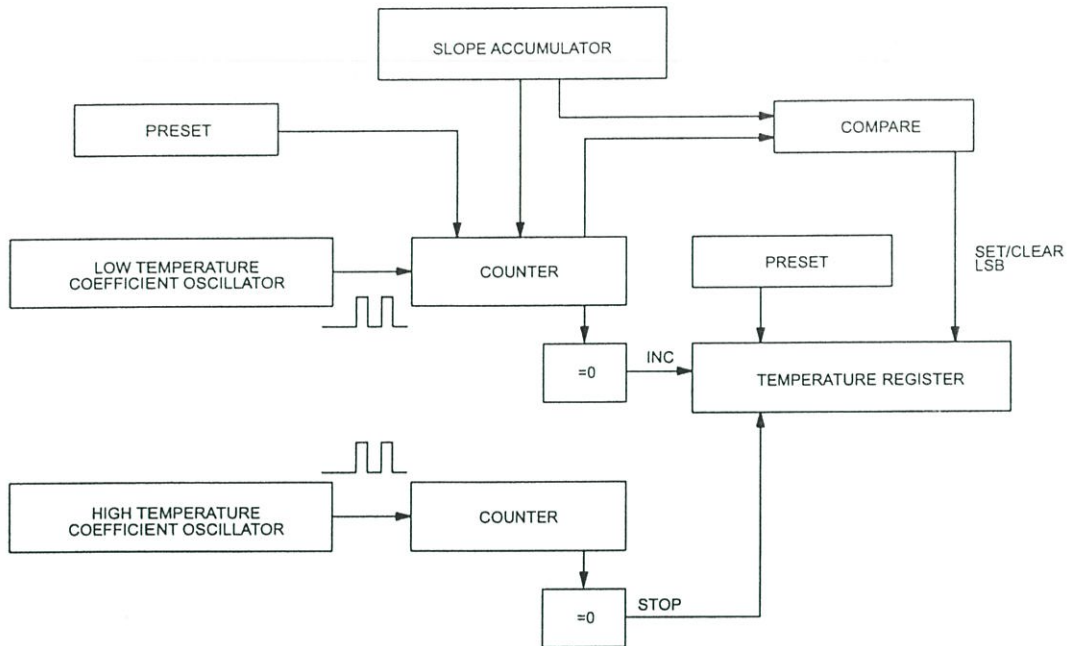
MSB								LSB
1	1	1	0	0	1	1	1	0
= -25°C								

The most significant (sign) bit is duplicated into all of the bits in the upper MSB of the two-byte temperature register in memory. This "sign-extension" yields the 16-bit temperature readings as shown in Table 1.

Higher resolutions may be obtained by the following procedure. First, read the temperature, and truncate the 0.5°C bit (the LSB) from the read value. This value is TEMP_READ. The value left in the counter may then be read. This value is the count remaining (COUNT_REMAIN) after the gate period has ceased. The last value needed is the number of counts per degree C (COUNT_PER_C) at that temperature. The actual temperature may be then be calculated by the user using the following:

$$\text{TEMPERATURE} = \text{TEMP_READ} - 0.25 + \frac{(\text{COUNT_PER_C} - \text{COUNT_REMAIN})}{\text{COUNT_PER_C}}$$

TEMPERATURE MEASURING CIRCUITRY Figure 4



TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS Table 1

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	00000000 11111010	00FA
+25°C	00000000 00110010	0032h
+1/2°C	00000000 00000001	0001h
+0°C	00000000 00000000	0000h
-1/2°C	11111111 11111111	FFFFh
-25°C	11111111 11001110	FFCEh
-55°C	11111111 10010010	FF92h

OPERATION – ALARM SIGNALING

After the DS1820 has performed a temperature conversion, the temperature value is compared to the trigger values stored in TH and TL. Since these registers are 8-bit only, the 0.5°C bit is ignored for comparison. The most significant bit of TH or TL directly corresponds to the sign bit of the 16-bit temperature register. If the result of a temperature measurement is higher than TH or lower than TL, an alarm flag inside the device is set.

This flag is updated with every temperature measurement. As long as the alarm flag is set, the DS1820 will respond to the alarm search command. This allows many DS1820s to be connected in parallel doing simultaneous temperature measurements. If somewhere the temperature exceeds the limits, the alarming device(s) can be identified and read immediately without having to read non-alarming devices.

64-BIT LASERED ROM

Each DS1820 contains a unique ROM code that is 64-bits long. The first eight bits are a 1-Wire family code (DS1820 code is 10h). The next 48 bits are a unique serial number. The last eight bits are a CRC of the first 56 bits. (See Figure 5.) The 64-bit ROM and ROM Function Control section allow the DS1820 to operate as a 1-Wire device and follow the 1-Wire protocol detailed in the section "1-Wire Bus System". The functions required to control sections of the DS1820 are not accessible until the ROM function protocol has been satisfied. This protocol is described in the ROM function protocol flowchart (Figure 6). The 1-Wire bus master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. After a ROM functions sequence has been successfully executed, the functions specific to the DS1820 are accessible and the bus master may then provide and one of the six memory and control function commands.

CRC GENERATION

The DS1820 has an 8-bit CRC stored in the most significant byte of the 64-bit ROM. The bus master can compute a CRC value from the first 56-bits of the 64-bit ROM and compare it to the value stored within the DS1820 to determine if the ROM data has been received error-free by the bus master. The equivalent polynomial function of this CRC is:

$$\text{CRC} = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

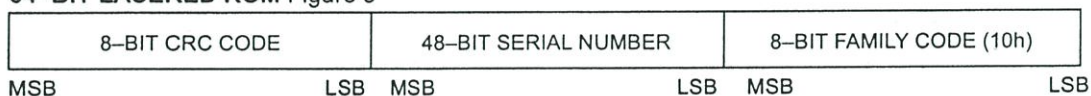
The DS1820 also generates an 8-bit CRC value using the same polynomial function shown above and pro-

vides this value to the bus master to validate the transfer of data bytes. In each case where a CRC is used for data transfer validation, the bus master must calculate a CRC value using the polynomial function given above and compare the calculated value to either the 8-bit CRC value stored in the 64-bit ROM portion of the DS1820 (for ROM reads) or the 8-bit CRC value computed within the DS1820 (which is read as a ninth byte when the scratchpad is read). The comparison of CRC values and decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS1820 that prevents a command sequence from proceeding if the CRC stored in or calculated by the DS1820 does not match the value generated by the bus master.

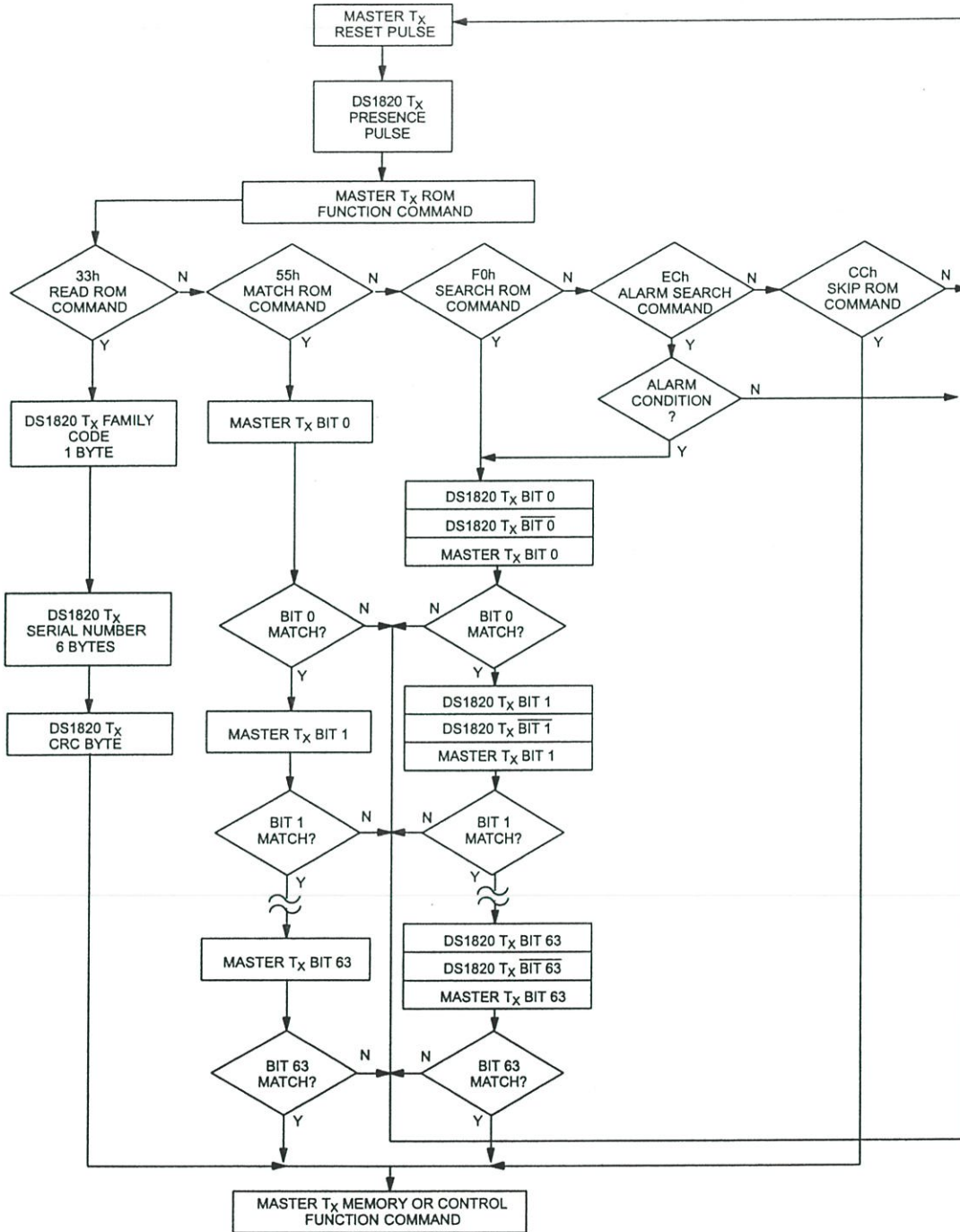
The 1-Wire CRC can be generated using a polynomial generator consisting of a shift register and XOR gates as shown in Figure 7. Additional information about the Dallas 1-Wire Cyclic Redundancy Check is available in Application Note 27 entitled "Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products".

The shift register bits are initialized to zero. Then starting with the least significant bit of the family code, one bit at a time is shifted in. After the 8th bit of the family code has been entered, then the serial number is entered. After the 48th bit of the serial number has been entered, the shift register contains the CRC value. Shifting in the eight bits of CRC should return the shift register to all zeros.

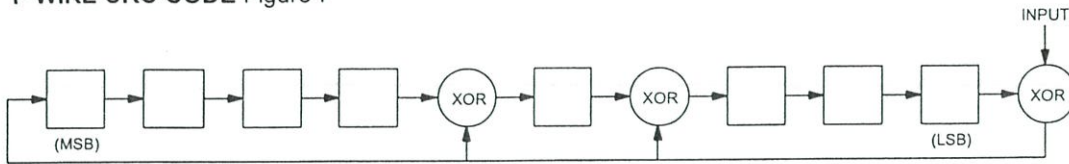
64-BIT LASERED ROM Figure 5



ROM FUNCTIONS FLOW CHART Figure 6



1-WIRE CRC CODE Figure 7



MEMORY

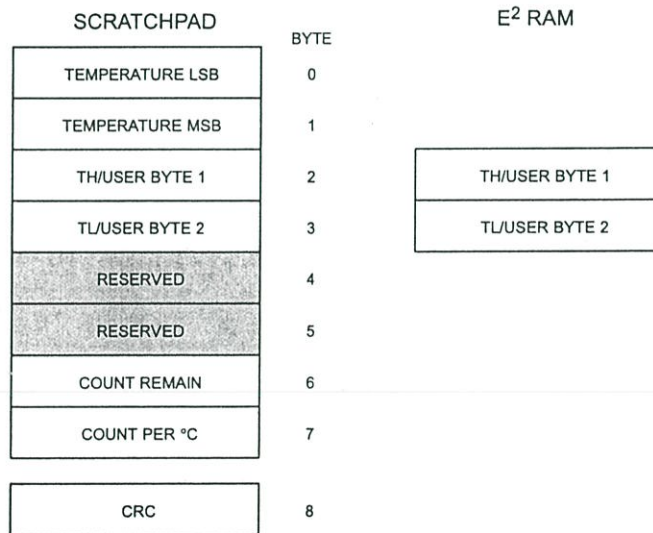
The DS1820's memory is organized as shown in Figure 8. The memory consists of a scratchpad RAM and a nonvolatile, electrically erasable (E²) RAM, which stores the high and low temperature triggers TH and TL. The scratchpad helps insure data integrity when communicating over the 1-Wire bus. Data is first written to the scratchpad where it can be read back. After the data has been verified, a copy scratchpad command will transfer the data to the nonvolatile (E²) RAM. This process insures data integrity when modifying the memory.

The scratchpad is organized as eight bytes of memory. The first two bytes contain the measured temperature

information. The third and fourth bytes are volatile copies of TH and TL and are refreshed with every power-on reset. The next two bytes are not used; upon reading back, however, they will appear as all logic 1's. The seventh and eighth bytes are count registers, which may be used in obtaining higher temperature resolution (see "Operation—measuring Temperature" section).

There is a ninth byte which may be read with a Read Scratchpad command. This byte contains a cyclic redundancy check (CRC) byte which is the CRC over all of the eight previous bytes. This CRC is implemented in the fashion described in the section titled "CRC Generation".

DS1820 MEMORY MAP Figure 8



1-WIRE BUS SYSTEM

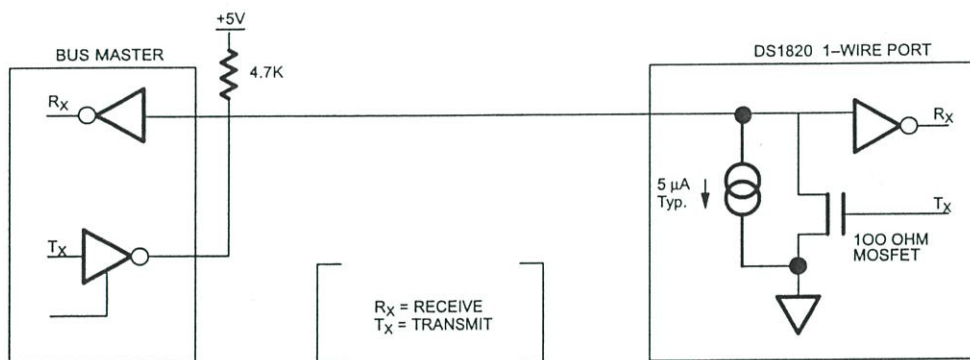
The 1-Wire bus is a system which has a single bus master and one or more slaves. The DS1820 behaves as a slave. The discussion of this bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has only a single line by definition; it is important that each device on the bus be able to drive it

at the appropriate time. To facilitate this, each device attached to the 1-Wire bus must have open drain or 3-state outputs. The 1-Wire port of the DS1820 (I/O pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 9. A multidrop bus consists of a 1-Wire bus with multiple slaves attached. The 1-Wire bus requires a pullup resistor of approximately 5K Ω .

HARDWARE CONFIGURATION Figure 9



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 this does not occur and the bus is left low for more than 480 μ s, all components on the bus will be reset.

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 the DS1820 is on the bus and is ready to operate. For more details, see the "1-Wire Signaling" section.

TRANSACTION SEQUENCE

The protocol for accessing the DS1820 via the 1-Wire port is as follows:

- Initialization
- ROM Function Command
- Memory Function Command
- Transaction/Data

ROM FUNCTION COMMANDS

Once the bus master has detected a presence, it can issue one of the five ROM function commands. All ROM function commands are 8-bits long. A list of these commands follows (refer to flowchart in Figure 6):

Read ROM [33h]

This command allows the bus master to read the DS1820's 8-bit family code, unique 48-bit serial number, and 8-bit CRC. This command can only be used if there is a single DS1820 on the bus. If more than one slave is present on the bus, a data collision will occur when all slaves try to transmit at the same time (open drain will produce a wired AND result).

Match ROM [55h]

The match ROM command, followed by a 64-bit ROM sequence, allows the bus master to address a specific DS1820 on a multidrop bus. Only the DS1820 that exactly matches the 64-bit ROM sequence will respond to the following memory function command. All slaves that do not match the 64-bit ROM sequence will wait for a reset pulse. This command can be used with a single or multiple devices on the bus.

Skip ROM [CCh]

This command can save time in a single drop bus system by allowing the bus master to access the memory functions without providing the 64-bit ROM code. If more than one slave is present on the bus and a read command is issued following the Skip ROM command, data collision will occur on the bus as multiple slaves transmit simultaneously (open drain pulldowns will produce a wired AND result).

Search ROM [F0h]

When a system is initially brought up, the bus master might not know the number of devices on the 1-Wire bus or their 64-bit ROM codes. The search ROM command allows the bus master to use a process of elimination to identify the 64-bit ROM codes of all slave devices on the bus.

Alarm Search [ECh]

The flowchart of this command is identical to the Search ROM command. However, the DS1820 will respond to this command only if an alarm condition has been encountered at the last temperature measurement. An alarm condition is defined as a temperature higher than TH or lower than TL. The alarm condition remains set as long as the DS1820 is powered up, or until another temperature measurement reveals a non-alarming value. For alarming, the trigger values stored in EEPROM are taken into account. If an alarm condition exists and the TH or TL settings are changed, another temperature

conversion should be done to validate any alarm conditions.

Example of a ROM Search

The ROM search process is the repetition of a simple 3-step routine: read a bit, read the complement of the bit, then write the desired value of that bit. The bus master performs this simple, 3-step routine on each bit of the ROM. After one complete pass, the bus master knows the contents of the ROM in one device. The remaining number of devices and their ROM codes may be identified by additional passes.

The following example of the ROM search process assumes four different devices are connected to the same 1-Wire bus. The ROM data of the four devices is as shown:

```
ROM1  00110101...
ROM2  10101010...
ROM3  11110101...
ROM4  00010001...
```

The search process is as follows:

1. The bus master begins the initialization sequence by issuing a reset pulse. The slave devices respond by issuing simultaneous presence pulses.
2. The bus master will then issue the Search ROM command on the 1-Wire bus.
3. The bus master reads a bit from the 1-Wire bus. Each device will respond by placing the value of the first bit of their respective ROM data onto the 1-Wire bus. ROM1 and ROM4 will place a 0 onto the 1-Wire bus, i.e., pull it low. ROM2 and ROM3 will place a 1 onto the 1-Wire bus by allowing the line to stay high. The result is the logical AND of all devices on the line, therefore the bus master sees a 0. The bus master reads another bit. Since the Search ROM data command is being executed, all of the devices on the 1-Wire bus respond to this second read by placing the complement of the first bit of their respective ROM data onto the 1-Wire bus. ROM1 and ROM4 will place a 1 onto the 1-Wire, allowing the line to stay high. ROM2 and ROM3 will place a 0 onto the 1-Wire, thus it will be pulled low. The bus master again observes a 0 for the complement of the first ROM data bit. The bus master has determined that there are some devices on the 1-Wire bus that have a 0 in the first position and others that have a 1.

The data obtained from the two reads of the 3-step routine have the following interpretations:

- 00 There are still devices attached which have conflicting bits in this position.
 - 01 All devices still coupled have a 0-bit in this bit position.
 - 10 All devices still coupled have a 1-bit in this bit position.
 - 11 There are no devices attached to the 1-Wire bus.
4. The bus master writes a 0. This deselects ROM2 and ROM3 for the remainder of this search pass, leaving only ROM1 and ROM4 connected to the 1-Wire bus.
 5. The bus master performs two more reads and receives a 0-bit followed by a 1-bit. This indicates that all devices still coupled to the bus have 0's as their second ROM data bit.
 6. The bus master then writes a 0 to keep both ROM1 and ROM4 coupled.
 7. The bus master executes two reads and receives two 0-bits. This indicates that both 1-bits and 0-bits exist as the third bit of the ROM data of the attached devices.
 8. The bus master writes a 0-bit. This deselects ROM1 leaving ROM4 as the only device still connected.
 9. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM4 and continues to access the part if desired. This completes the first pass and uniquely identifies one part on the 1-Wire bus.
 10. The bus master starts a new ROM search sequence by repeating steps 1 through 7.
 11. The bus master writes a 1-bit. This decouples ROM4, leaving only ROM1 still coupled.
 12. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM1 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the second ROM search pass, in which another of the ROMs was found.
 13. The bus master starts a new ROM search by repeating steps 1 through 3.
 14. The bus master writes a 1-bit. This deselects ROM1 and ROM4 for the remainder of this search pass, leaving only ROM2 and ROM3 coupled to the system.
 15. The bus master executes two read time slots and receives two zeros.
 16. The bus master writes a 0-bit. This decouples ROM3, and leaving only ROM2.
 17. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM2 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the third ROM search pass, in which another of the ROMs was found.
 18. The bus master starts a new ROM search by repeating steps 13 through 15.
 19. The bus master writes a 1-bit. This decouples ROM2, leaving only ROM3.
 20. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM3 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the fourth ROM search pass, in which another of the ROMs was found.

Note the following:

The bus master learns the unique ID number (ROM data pattern) of one 1-Wire device on each ROM Search operation. The time required to derive the part's unique ROM code is:

$$960 \mu\text{s} + (8 + 3 \times 64) 61 \mu\text{s} = 13.16 \text{ ms}$$

The bus master is therefore capable of identifying 75 different 1-Wire devices per second.

I/O SIGNALING

The DS1820 requires strict protocols to insure data integrity. The protocol consists of several types of signaling on one line: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. All of these signals, with the exception of the presence pulse, are initiated by the bus master.

The initialization sequence required to begin any communication with the DS1820 is shown in Figure 11. A reset pulse followed by a presence pulse indicates the DS1820 is ready to send or receive data given the correct ROM command and memory function command.

The bus master transmits (TX) a reset pulse (a low signal for a minimum of 480 μs). The bus master then releases the line and goes into a receive mode (RX). The 1-Wire bus is pulled to a high state via the 5K pull-up resistor. After detecting the rising edge on the

I/O pin, the DS1820 waits 15–60 μs and then transmits the presence pulse (a low signal for 60–240 μs).

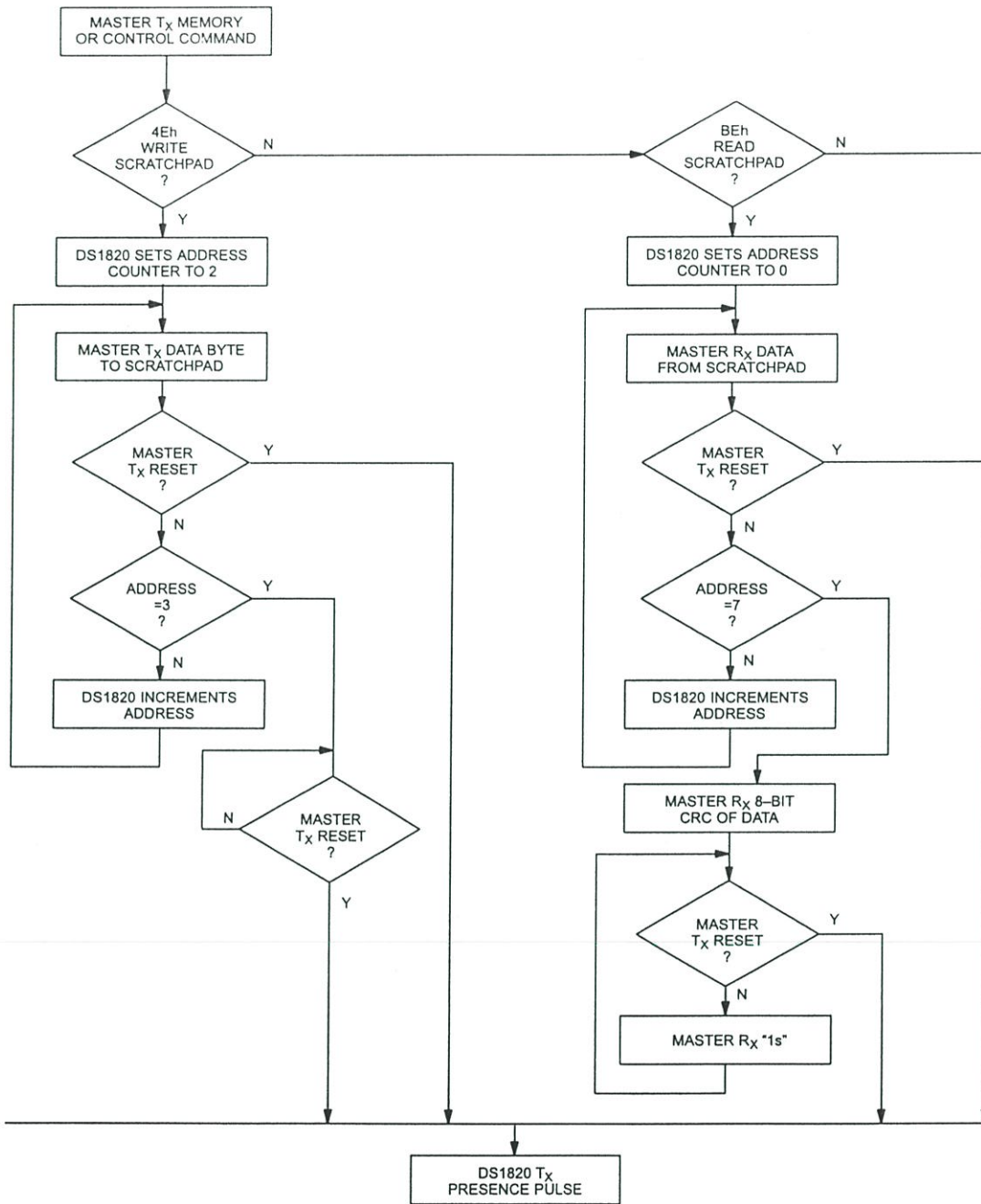
MEMORY COMMAND FUNCTIONS

The following command protocols are summarized in Table 2, and by the flowchart of Figure 10.

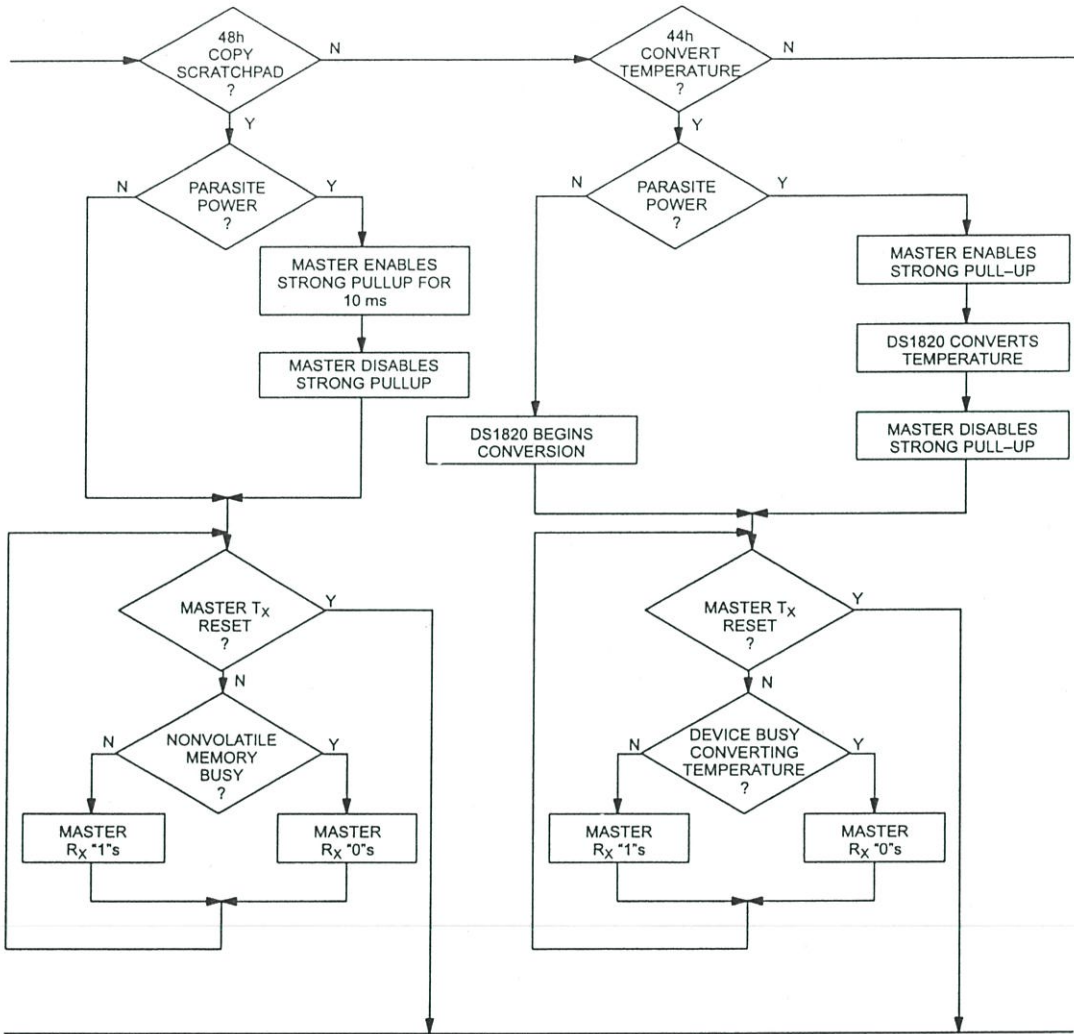
Write Scratchpad [4Eh]

This command writes to the scratchpad of the DS1820, starting at address 2. The next two bytes written will be saved in scratchpad memory, at address locations 2 and 3. Writing may be terminated at any point by issuing a reset.

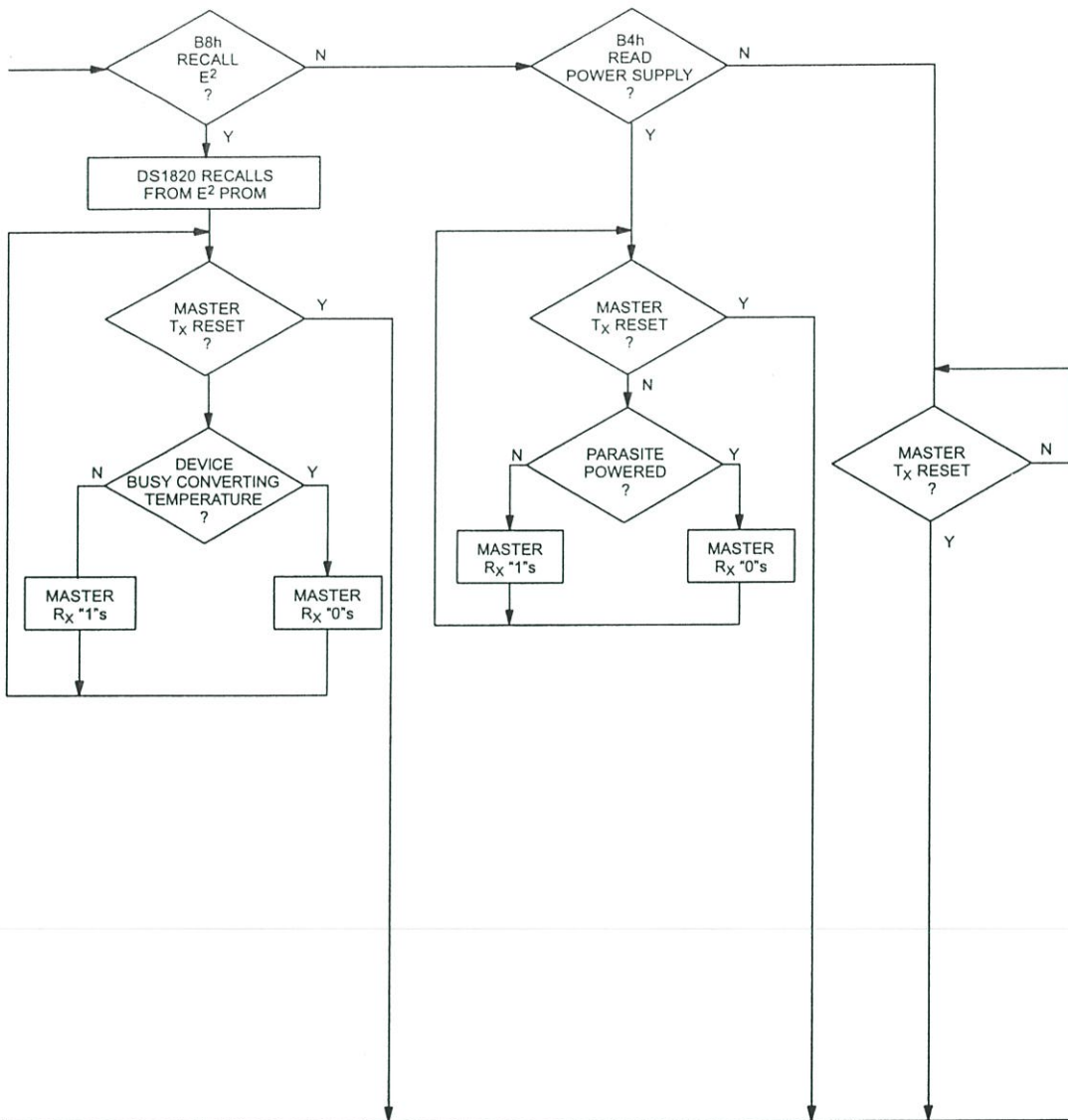
MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10



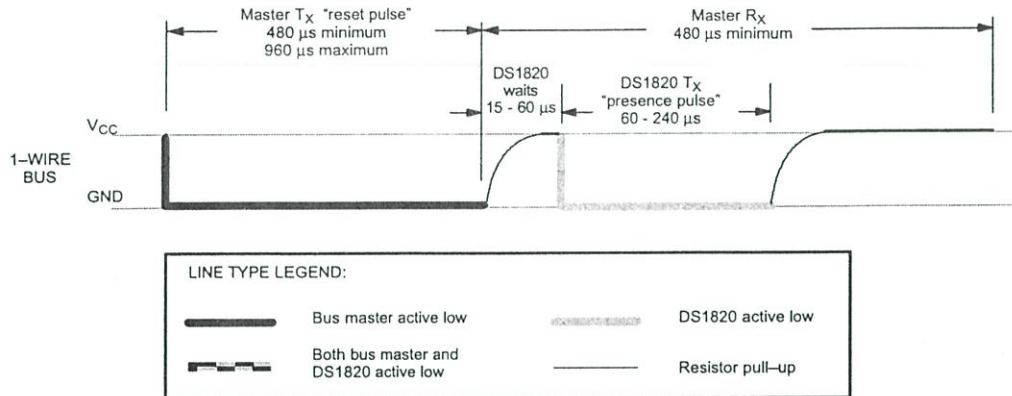
MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10 (cont'd)



MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10 (cont'd)



INITIALIZATION PROCEDURE "RESET AND PRESENCE PULSES" Figure 11



DS1820 COMMAND SET Table 2

INSTRUCTION	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-WIRE BUS AFTER ISSUING PROTOCOL	NOTES
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	<read temperature busy status>	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads bytes from scratchpad and reads CRC byte.	BEh	<read data up to 9 bytes>	
Write Scratchpad	Writes bytes into scratchpad at addresses 2 and 3 (TH and TL temperature triggers).	4Eh	<write data into 2 bytes at addr. 2 and addr. 3>	
Copy Scratchpad	Copies scratchpad into nonvolatile memory (addresses 2 and 3 only).	48h	<read copy status>	2
Recall E ²	Recalls values stored in nonvolatile memory into scratchpad (temperature triggers).	B8h	<read temperature busy status>	
Read Power Supply	Signals the mode of DS1820 power supply to the master.	B4h	<read supply status>	

NOTES:

- Temperature conversion takes up to 500 ms. After receiving the Convert T protocol, if the part does not receive power from the V_{DD} pin, the I/O line for the DS1820 must be held high for at least 500 ms to provide power during the conversion process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Convert T command has been issued.
- After receiving the Copy Scratchpad protocol, if the part does not receive power from the V_{DD} pin, the I/O line for the DS1820 must be held high for at least 10 ms to provide power during the copy process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Copy Scratchpad command has been issued.

Read Scratchpad [BEh]

This command reads the contents of the scratchpad. Reading will commence at byte 0, and will continue through the scratchpad until the 9th (byte-8, CRC) byte is read. If not all locations are to be read, the master may issue a reset to terminate reading at any time.

Copy Scratchpad [48h]

This command copies the scratchpad into the E² memory of the DS1820, storing the temperature trigger bytes in nonvolatile memory. If the bus master issues read time slots following this command, the DS1820 will output "0" on the bus as long as it is busy copying the scratchpad to E²; it will return a "1" when the copy process is complete. If parasite powered, the bus master has to enable a strong pull-up for at least 10 ms immediately after issuing this command.

Convert T [44h]

This command begins a temperature conversion. No further data is required. The temperature conversion will be performed and then the DS1820 will remain idle. If the bus master issues read time slots following this command, the DS1820 will output "0" on the bus as long as it is busy making a temperature conversion; it will return a "1" when the temperature conversion is complete. If parasite powered, the bus master has to enable a strong pullup for 500 ms immediately after issuing this command.

Recall E2 [B8h]

This command recalls the temperature trigger values stored in E² to the scratchpad. This recall operation happens automatically upon power-up to the DS1820 as well, so valid data is available in the scratchpad as soon as the device has power applied. With every read data time slot issued after this command has been sent, the device will output its temperature converter busy flag "0"=busy, "1"=ready.

Read Power Supply [B4h]

With every read data time slot issued after this command has been sent to the DS1820, the device will signal its power mode: "0"=parasite power, "1"=external power supply provided.

READ/WRITE TIME SLOTS

DS1820 data is read and written through the use of time slots to manipulate bits and a command word to specify the transaction.

Write Time Slots

A write time slot is initiated when the host pulls the data line from a high logic level to a low logic level. There are two types of write time slots: Write One time slots and Write Zero time slots. All write time slots must be a minimum of 60 μ s in duration with a minimum of a one μ s recovery time between individual write cycles.

The DS1820 samples the I/O line in a window of 15 μ s to 60 μ s after the I/O line falls. If the line is high, a Write One occurs. If the line is low, a Write Zero occurs (see Figure 12).

For the host to generate a Write One time slot, the data line must be pulled to a logic low level and then released, allowing the data line to pull up to a high level within 15 μ s after the start of the write time slot.

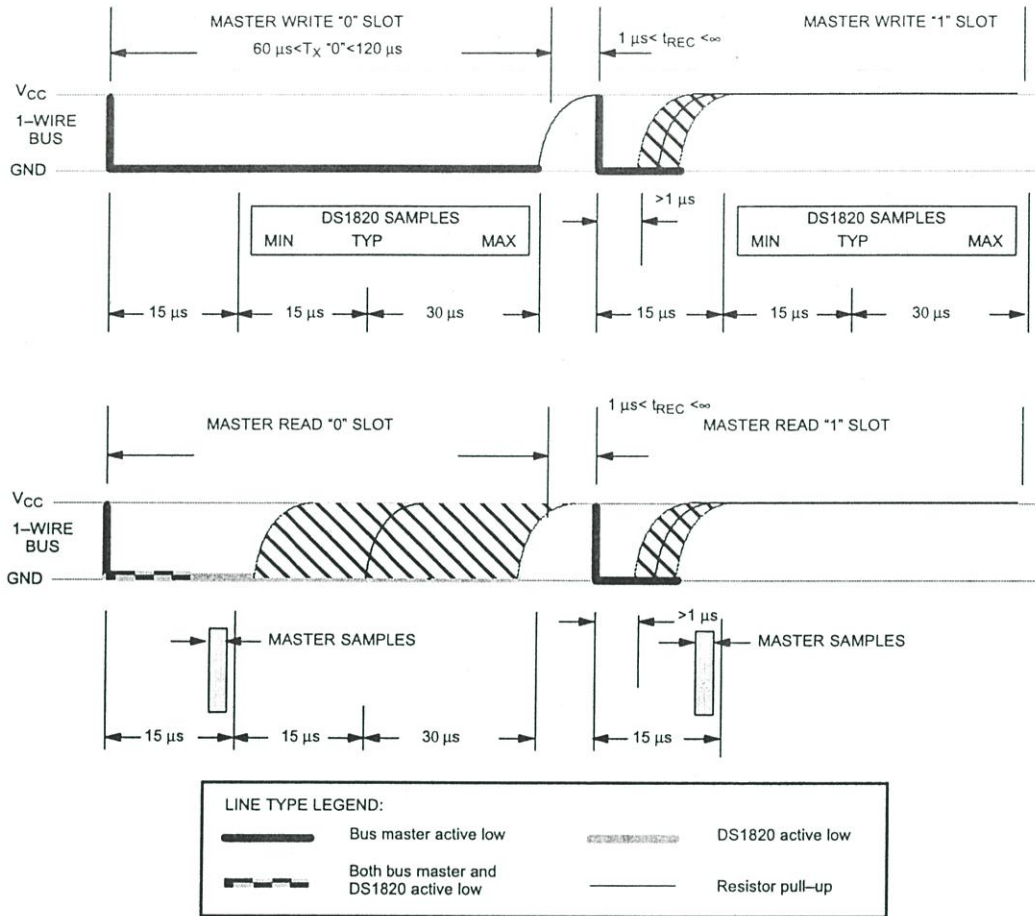
For the host to generate a Write Zero time slot, the data line must be pulled to a logic low level and remain low for 60 μ s.

Read Time Slots

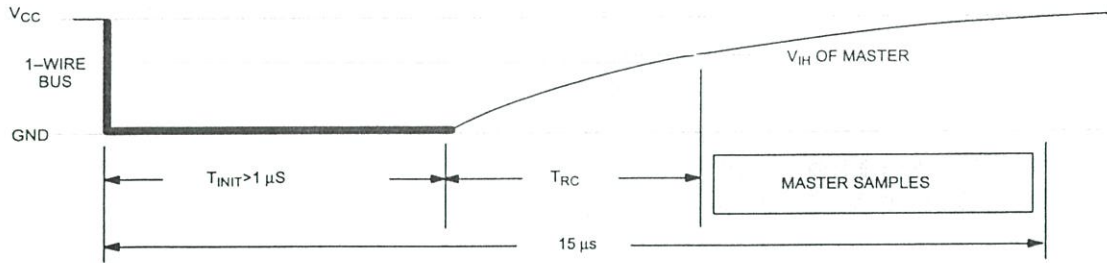
The host generates read time slots when data is to be read from the DS1820. A read time slot is initiated when the host pulls the data line from a logic high level to logic low level. The data line must remain at a low logic level for a minimum of one μ s; output data from the DS1820 is valid for 15 μ s after the falling edge of the read time slot. The host therefore must stop driving the I/O pin low in order to read its state 15 μ s from the start of the read slot (see Figure 12). By the end of the read time slot, the I/O pin will pull back high via the external pull-up resistor. All read time slots must be a minimum of 60 μ s in duration with a minimum of a one μ s recovery time between individual read slots.

Figure 13 shows that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15 μ s. Figure 14 shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as small as possible and by locating the master sample time towards the end of the 15 μ s period.

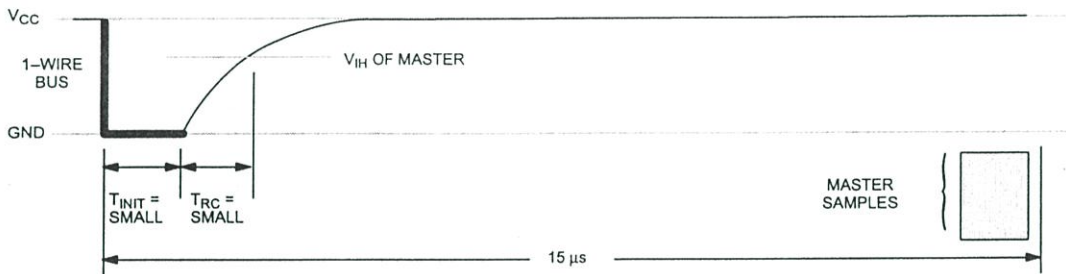
READ/WRITE TIMING DIAGRAM Figure 12



DETAILED MASTER READ "1" TIMING Figure 13



RECOMMENDED MASTER READ "1" TIMING Figure 14



LINE TYPE LEGEND:			
	Bus master active low		DS1820 active low
	Both bus master and DS1820 active low		Resistor pull-up

Related Application Notes

The following Application Notes can be applied to the DS1820. These notes can be obtained from the Dallas

Semiconductor "Application Note Book", via our website at <http://www.dalsemi.com/>, or through our faxback service at (214) 450-0441.

Application Note 27: "Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Product"

Application Note 55: "Extending the Contact Range of Touch Memories"

Application Note 74: "Reading and Writing Touch Memories via Serial Interfaces"

Application Note 104: "Minimalist Temperature Control Demo"

Application Note 105: "High Resolution Temperature Measurement with Dallas Direct-to-Direct Temperature Sensors"

Application Note 106: "Complex MicroLANs"

Application Note 108: "MicroLAN – In the Long Run"

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with AN74 can be downloaded from the website or our Anonymous FTP Site.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 3

Example: Bus Master initiates temperature conversion, then reads temperature (parasite power assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse (480–960 μ s).
RX	Presence	Presence pulse.
TX	55h	Issue "Match ROM" command.
TX	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1820.
TX	44h	Issue "Convert T" command.
TX	<I/O LINE HIGH>	I/O line is held high for at least 500 ms by bus master to allow conversion to complete.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	55h	Issue "Match ROM" command.
TX	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1820.
TX	BEh	Issue "Read Scratchpad" command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC; the master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad, compares the CRC calculated and the CRC read. If they match, the master continues; if not, this read operation is repeated.
TX	Reset	Reset Pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 4

Example: Bus Master writes memory (parasite power and only one DS1820 assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	4Eh	Write Scratchpad command.
TX	<2 data bytes>	Writes two bytes to scratchpad (TH and TL).
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	BEh	Read Scratchpad command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC. The master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad, compares the CRC and the two other bytes read back from the scratchpad. If data match, the master continues; if not, repeat the sequence.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	48h	Copy Scratchpad command; after issuing this command, the master must wait 6 ms for copy operation to complete.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 5

Example: Temperature conversion and interpolation (external power supply and only one DS1820 assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse.
TR	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	44h	Convert T command.
RX	<1 data byte>	Read busy flag eight times. The master continues reading one byte (or bit) after another until the data is FFh (all bits 1).
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	BEh	Read Scratchpad command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC. The master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad and compares both CRCs. If the CRCs match, the data is valid. The master saves the temperature value and stores the contents of the count register and count per °C register as COUNT_REMAIN and COUNT_PER_C, respectively.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.
–	–	CPU calculates temperature as described in the data sheet for higher resolution.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds

* This is a stress rating 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.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{DD}	I/O Functions	2.8	5.0	5.5	V	1, 2
		±1/2°C Accurate Temperature Conversions	4.3		5.5		
Data Pin	I/O		-0.5		+5.5	V	2
Logic 1	V _{IH}		2.0		V _{CC} +0.3	V	2, 3
Logic 0	V _{IL}		-0.3		+0.8	V	2, 4

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS(-55°C to +125°C; V_{DD}=3.6V to 5.5V)

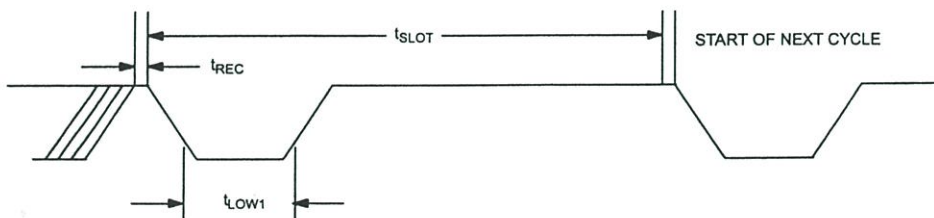
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Thermometer Error	t _{ERR}	-0°C to +70°C			±1/2	°C	1, 9, 10
		-55°C to 0°C and +70°C to +125°C			See Typical Curve		
Input Logic High	V _{IH}		2.2		5.5	V	2, 3
Input Logic Low	V _{IL}		-0.3		+0.8	V	2, 4
Sink Current	I _L	V _{I/O} =0.4V	-4.0			mA	2
Standby Current	I _Q			200	350	nA	8
Active Current	I _{DD}			1	1.5	mA	5, 6
Input Load Current	I _L			5		μA	7

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS:(-55°C to +125°C; $V_{DD}=3.6V$ to $5.5V$)

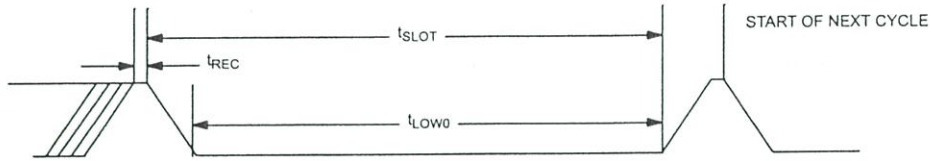
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}		200	500	ms	
Time Slot	t_{SLOT}	60		120	μs	
Recovery Time	t_{REC}	1			μs	
Write 0 Low Time	t_{LOW0}	60		120	μs	
Write 1 Low Time	t_{LOW1}	1		15	μs	
Read Data Valid	t_{RDV}			15	μs	
Reset Time High	t_{RSTH}	480			μs	
Reset Time Low	t_{RSTL}	480		4800	μs	
Presence Detect High	t_{PDHIGH}	15		60	μs	
Presence Detect Low	t_{PDLow}	60		240	μs	
Capacitance	$C_{IN/OUT}$			25	pF	

NOTES:

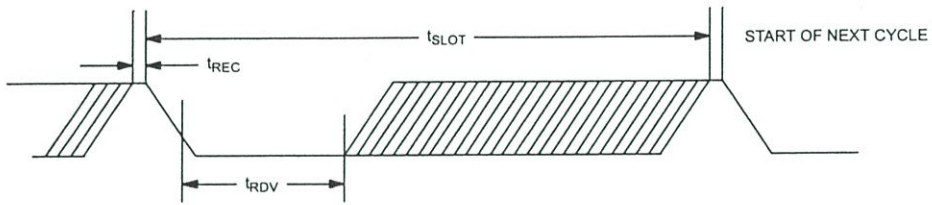
1. Temperature conversion will work with $\pm 2^{\circ}C$ accuracy down to $V_{DD} = 3.4$ volts.
2. All voltages are referenced to ground.
3. Logic one voltages are specified at a source current of 1 mA.
4. Logic zero voltages are specified at a sink current of 4 mA.
5. I_{DD} specified with V_{CC} at 5.0 volts.
6. Active current refers to either temperature conversion or writing to the E^2 memory. Writing to E^2 memory consumes approximately $200 \mu A$ for up to 10 ms.
7. Input load is to ground.
8. Standby current specified up to $70^{\circ}C$. Standby current typically is $5 \mu A$ at $125^{\circ}C$.
9. See Typical Curve for specification limits outside the $0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$ range. Thermometer error reflects sensor accuracy as tested during calibration.
10. Typical accuracy curve valid for $4.3V \leq V_{DD} \leq 5.5V$.

1-WIRE WRITE ONE TIME SLOT

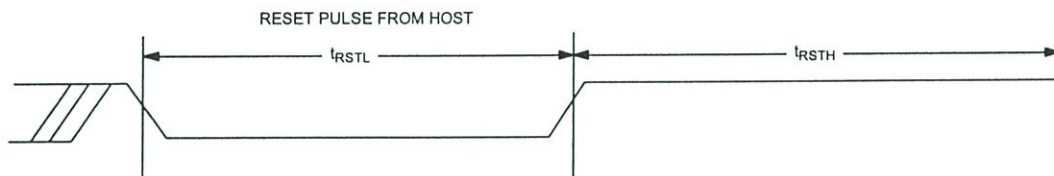
1-WIRE WRITE ZERO TIME SLOT



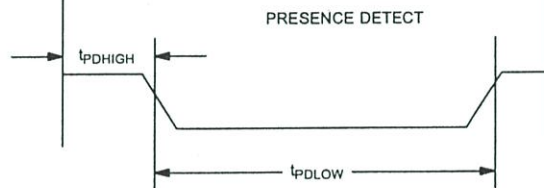
1-WIRE READ ZERO TIME SLOT



1-WIRE RESET PULSE



1-WIRE PRESENCE DETECT



TYPICAL PERFORMANCE CURVE

DS1820 DIGITAL THERMOMETER AND THERMOSTAT
TEMPERATURE READING ERROR

