

ปริญญาบัตร

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

DIGITAL THERMOMETER FOR PORK



ส.พ.
๕๓๕๖ ค
๒๕๔๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 66721
วัน,เดือน,ปี - 8 พ.ย. 2549

b. 1166099x
i.....

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
 Digital Thermometer for Pork

ชื่อนักศึกษา 1. นายอรรถพล โชติกะคาม รหัสประจำตัว 46035416
 2. นายชัชวาล ก้อนคำ รหัสประจำตัว 46035390

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.ปิยะ ศุภวารสุวัฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
2. อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
3. ผศ.กิติพงศ์ มะโน	
4. อ.พรพิมล ฉายรัศมี	
5. อ.อำพล ทองระอา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 27 เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 เวลา 9.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ รัตรี)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....2549



<BT473062>

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

DIGITAL THERMOMETER FOR PORK

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
2. เพื่อสามารถออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้
3. เพื่อสามารถสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้
4. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้
5. เพื่อสามารถนำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรไปทดสอบใช้งานได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
2. ได้แบบของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
3. ได้เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
4. ได้ผลทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
5. นำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I

ชื่อหัวข้อ	เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
นักศึกษา	นายชัชวาล ก้อนคำ นายอรรณพ โชติทะคาม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ซึ่งระบบโดยรวมของโครงการ ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานในระบบวัดผล โดยนำไปใช้งานร่วมกับวงจรวัดอุณหภูมิ ในการวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นเซนเซอร์ ซึ่งใช้หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิออกมาและนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องมือในการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในหน่วยความจำและสามารถแสดงผลเป็นหน่วยองศาเซลเซียส เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าและบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II

Thesis Title	Digital Thermometer for Pork
Students	Mr.Chatchawan Konkham Mr.Unnop Chotikakam
Advisor	Mr.Piya Jitthammaprom
Co-Advisor	Mr.Piya Supavarasuwat
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2004

ABSTRACT

This thesis presents a design and development of Digital Thermometer for Pork. It uses microcontroller PIC16F876 to control the system. To measure the temperature by thermocouple as a sensor, the measuring concept is referred to the change of electrical qualify. Later, it generates electromotive force as the temperature changes and translates the signal from analog to digital by microcontroller. For the convenience of reading and processing, it records data into the memory and shows the result on LCD as degree celcius.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณอาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์ อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสุวัฒน์ และอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้ข้อมูล คำปรึกษาในการศึกษาค้นคว้า และแนวทางแก้ไขปัญหาในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ หอสมุดกลางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สุดท้ายนี้ที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดาและมารดาที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นผู้ให้กำลังใจ ด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876	3
2.2.1 คุณสมบัติของ PIC16F876/876A	4
2.2.2 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F876	4
2.3 เทอร์โมคัปเปิล	6
2.3.1 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล	6
2.3.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	6
2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	8
2.4 วิธีการวัดอุณหภูมิของเนื้อสุกร	12
2.5 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม	13
2.6 ไอซีขยายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล AD595	15
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	18
3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	19
3.2 การออกแบบวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	19
3.2.1 วงจรปรับสภาพสัญญาณ	19
3.2.2 วงจรภาคจ่ายไฟ	20
3.2.3 การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	21
3.2.4 การออกแบบตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	22
3.3 ซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	24
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	26
4.1 กล่าวนำ	26
4.2 การทดลองการแสดงผล	26
4.3 การทดลองการรับส่งข้อมูล	30
4.3.1 การทดลองการติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ I ² C	30
4.3.2 การทดลองการติดต่อกับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม (RS232)	32
4.4 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	34
4.5 การทดลองค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	56
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 สรุป	60
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	60
5.3 แนวทางการพัฒนา	61
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	62
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	68
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	75
ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	78
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	87
ภาคผนวก ฉ ผังงาน	95
ภาคผนวก ช รหัสต้นฉบับของโปรแกรม	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	106
ประวัติผู้แต่ง	107



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่างๆ	12
2.2 ตัวอย่างการจดบันทึกข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิ	13
2.3 แรงเคลื่อนทางต้านเอาต์พุตที่ย่านอุณหภูมิต่างๆ ของไอซีเบอร์ AD595	17
4.1 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	36
4.2 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้	45
4.3 ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเครื่องวัด 2 ชนิด	53
4.4 ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบต่างๆ	55
4.5 ค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบต่างๆ	58
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า	76
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรปรับสภาพสัญญาณ	76
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์	77
จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้นของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	93
จ.2 ข้อมูลจำเพาะ	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876	3
2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876	5
2.3 กฎของซีเบ็ค	6
2.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	7
2.5 ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	10
2.6 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดที่สามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้	14
2.7 การเชื่อมต่อ AD595 กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	15
2.8 การจ่ายไฟลบเพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C	16
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	18
3.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ	20
3.3 วงจรภาคจ่ายไฟ	20
3.4 การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	21
3.5 ด้านหน้าของตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	22
3.6 ด้านหลังของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	23
3.7 การเชื่อมต่อเพื่อใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	23
3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	24
3.8 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรม	25
4.1 โปรแกรมการทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี	26
4.1 (ต่อ) โปรแกรมการทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี	27
4.2 การทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี	28
4.3 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิทช์ตัวที่ 1	28
4.4 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิทช์ตัวที่ 2	29
4.5 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิทช์ตัวที่ 3	29
4.6 ทำการตั้งเวลาโดยกดสวิทช์ตัวที่ 1	30
4.7 การแสดงผลเมื่อตั้งเวลาเรียบร้อยแล้ว	31
4.8 การแสดงผลเมื่อบันทึกข้อมูลโดยกดสวิทช์ตัวที่ 2	31
4.9 การเชื่อมต่อเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	32
4.10 การแสดงผลบนโปรแกรม HyperTerminal เมื่อกดสวิทช์ตัวที่ 3	33

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ผลการตอบรับการส่งของข้อมูลเมื่อกดคีย์ที่คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์	33
4.12 ลักษณะของตรายบล็อกรหัส ISOTECH	34
4.13 การเสียบดีจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ในช่องทดลองของตรายบล็อกรหัส	35
4.14 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากตรายบล็อกรหัสกับดีจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ และเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	44
4.15 ค่าอุณหภูมิช่วง -20°C และ -15°C ที่บันทึกไว้แสดงบนโปรแกรม HyperTerminal	44
4.16 การเซตอุณหภูมิของตรายบล็อกรหัสที่ -25°C	56
ก.1 ด้านหน้าของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	63
ก.2 ด้านหลังของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	63
ก.3 ด้านบนของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	64
ก.4 ด้านข้างของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	64
ก.5 การเชื่อมต่อเซนเซอร์	65
ก.6 เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรพร้อมใช้งาน	65
ก.7 การเชื่อมต่อเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม (RS232)	66
ก.8 การสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับตรายบล็อกรหัสและดีจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ	66
ก.9 การสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ -25°C	67
ก.10 การวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับดีจิตอลเทอร์โมมิเตอร์	67
ข.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า $+9\text{V}$ และ $+5\text{V}$	69
ข.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ	69
ข.3 วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์	70
ข.4 ลายวงจรพิมพ์ด้านหน้า	71
ข.5 ลายวงจรพิมพ์ด้านหลัง	72
ข.6 การวางอุปกรณ์ด้านหน้า	73
ข.7 การวางอุปกรณ์ด้านหลัง	74
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (ด้านหน้า)	89
จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (ด้านหลัง)	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.4 เมื่อกดปุ่ม Send เครื่องจะรอการตอบรับจากคอมพิวเตอร์	92
จ.5 เมื่อกดคีย์บนคีย์บอร์ดข้อมูลจะถูกส่งมาแสดงบน HyperTerminal	92
ฉ.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	96
ฉ.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรม	97



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ความสะอาดและความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงคุณภาพของวัตถุดิบในการทำอาหารด้วย ในโรงฆ่าและเนื้อสุกรก็มีการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสุกร ด้วยการวัดอุณหภูมิภายในเนื้อสุกรด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ซึ่งในการตรวจวัดอุณหภูมิแต่ละครั้งจะต้องมีการจดบันทึกค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจะทำการวัดถึง 3 จุดต่อ 1 ครั้งและต้องจดบันทึกทุกครั้ง จะเห็นว่าวิธีการวัดใช้เวลาอย่างมากไม่สะดวก ดังนั้นจึงจะนำเสนอเครื่องวัดอุณหภูมิที่บันทึกค่าไว้ในตัวเครื่องและสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยได้

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรขึ้นมาเพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร สามารถออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้ ไปจนถึงการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรและสามารถนำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรไปทดสอบใช้งานได้จริง

1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์แล้ว จะเป็นเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารซึ่งจะช่วยให้ทำงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ผู้สร้างยังได้ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอีกด้วย

1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้ ในย่านอุณหภูมิ -50 ถึง 100 องศาเซลเซียส และบันทึกเวลาขณะที่วัดอุณหภูมิ
2. สามารถบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดมากที่สุด 256 ชุด
3. สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากการวัดอุณหภูมิ 3 จุดได้
4. แสดงผลทางจอแอลซีดี (LCD) หน่วยการวัดเป็นองศาเซลเซียส
5. ความละเอียดของค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง
6. มีลักษณะเป็นแบบมือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความผิดพลาดในการวัด ไม่เกิน $\pm 5\%$

8. เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ เพื่อถ่ายโอนข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม (RS 232)

1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำงานในระยะแรกเริ่มทดลองเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์บนชุดทดลอง จากนั้นจึงทดลองเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ เมื่ออุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ จึงเริ่มออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ทดสอบการทำงานและออกแบบกล่องเพื่อให้ใช้งานได้จริง

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆ รายละเอียดเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และไอซีขยายสัญญาณ AD595

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงานของฮาร์ดแวร์มีดังนี้ คือวงจรปรับสภาพสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล และวงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 เป็นการสรุปปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

ภาคผนวก ฉ ผังงาน

ภาคผนวก ช รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่มีความถูกต้องแม่นยำและทำงานได้สะดวกรวดเร็วยังคงเป็นที่ต้องการ โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ที่ช่วยให้การทำงานสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยเครื่องมือวัดสามารถวัดค่าอุณหภูมิ เก็บค่าอุณหภูมิ คำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงผลผ่านจอแอลซีดี และเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรมผ่าน MAX232 เพื่อถ่ายโอนข้อมูล หัวใจสำคัญของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร คือไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 และโพรบที่ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876



รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย และการกระทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์ (fetch) คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซีคิวต์ (execute) คำสั่งปัจจุบันทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้เร็วขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก ซึ่งตำแหน่งขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 แสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติของ PIC16F876/876A

1. ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง
2. สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งกระโดด
3. ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
4. หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด (kWord)
5. หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์ (Byte)
6. ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม 256 ไบต์
7. มีวงจรวอร์คอัพโอเวอร์โวลเทจ (POR)
8. มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์ (OST)
9. มีวงจรวอร์คอัปไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว
10. มีโหมดประหยัดพลังงาน
11. ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
12. ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 โวลต์ (V)
13. กระแสซิงเกิ้ลและกระแสซอร์สของพอร์ต 25 มิลลิแอมป์ (mA)
14. การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
น้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์และสัญญาณนาฬิกา 4 เมกะเฮิร์ตซ์
20 ไมโครแอมป์ (μ A) ที่ไฟเลี้ยง +3 โวลต์และสัญญาณนาฬิกา 32 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz)
น้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์ ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

2.2.2 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F876

2.2.2.1 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F876 เป็นแบบแฟลช (flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับแสนครั้ง PIC16F876 มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 8K x 14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ค่อนข้างใหญ่มากจึงต้องมีการจัดสรรเป็นเพจ (page) หรือเป็นหน้า โดยแต่ละเพจจะมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด

สำหรับ PIC16F877 ซึ่งขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด มีการจัดสรรพื้นที่ดังใน รูปที่ 2.2 มีการแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 4 เพจ ดังนี้

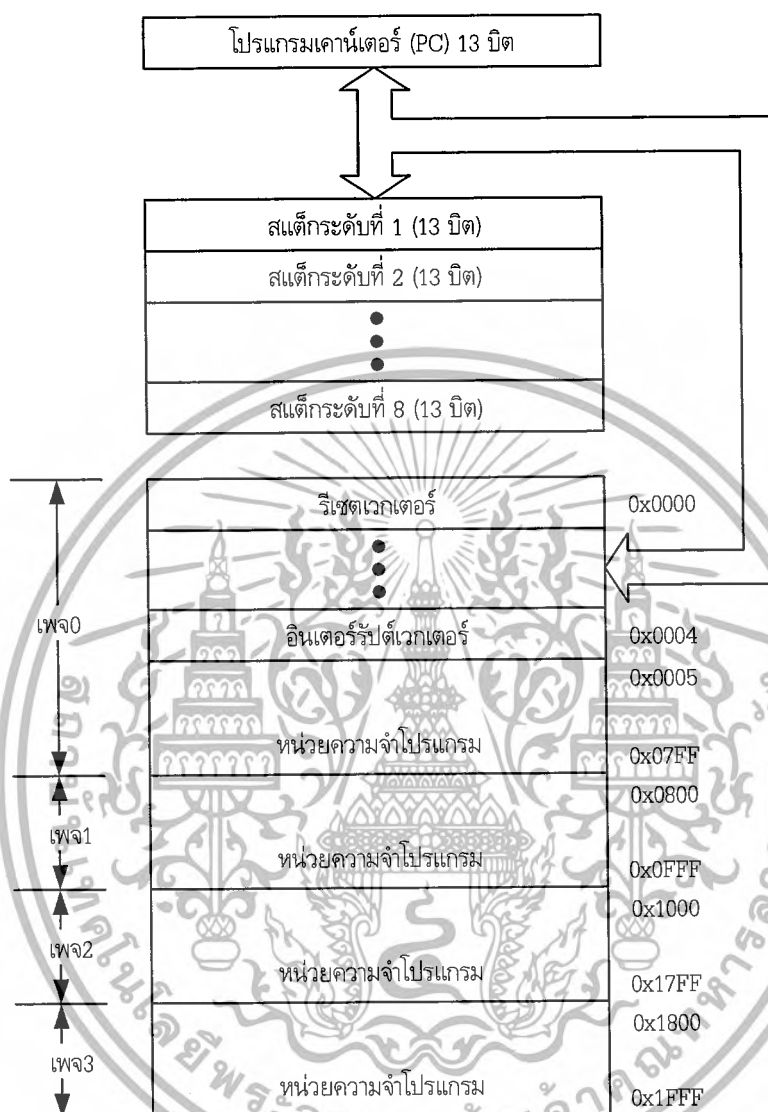
เพจ 0 มีแอดเดรสในช่วง 0x0000-0x07FF

เพจ 1 มีแอดเดรสในช่วง 0x0800-0x0FFF

เพจ 2 มีแอดเดรสในช่วง 0x1000-0x17FF

เพจ 3 มีแอดเดรสในช่วง 0x1800-0x1FFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

2.3.2.2 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล

ใน PIC 16F876 มีหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ และมีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 59 ตัว โดยจะแบ่งออกเป็น 4 แบนก์ แต่ละแบนก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ และมีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบนก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x000-0x07F

แบนก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x080-0x0FF

แบนก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

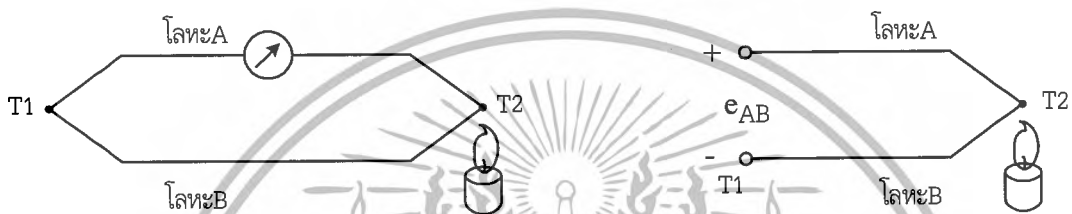
แบนก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทอร์โมคัปเปิล

2.3.1 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล

เมื่อทำการเชื่อมปลายโลหะ 2 เส้นที่เป็นโลหะต่างชนิดกันเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถ้าอุณหภูมิที่ปลายทั้ง 2 ด้านไม่เท่ากันจะเกิดกระแสไหลในโลหะทั้ง 2 เส้น นั่นแสดงว่า ถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกแล้วนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างโลหะ 2 เส้นค่าหนึ่ง (ค่านี้มีปริมาณน้อยหน่วยเป็นมิลลิโวลต์) เรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ว่า Seebeck Voltage



รูปที่ 2.3 กฎของซีเบ็ค

เทอร์โมคัปเปิลมีหลายชนิดให้เลือก แล้วแต่ย่านอุณหภูมิและลักษณะการใช้งาน โดยความแตกต่างของแต่ละชนิดนี้เกิดจากการเลือกใช้คู่ของวัสดุของโลหะที่จะนำมาเชื่อมเข้าด้วยกันให้แตกต่างกัน เพราะโลหะแต่ละชนิดย่อมมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของมันอยู่แล้ว เมื่อนำโลหะชนิดต่างๆ กันมาจับคู่เชื่อมเข้าด้วยกัน จะทำให้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้แตกต่างกันไป นอกจากนี้ได้มีการทดลองผสมโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะเดิมให้ดีขึ้น เช่น โครเมล (Cromel) คือ โลหะผสมของนิกเกิล 90% และโครเมียม 10% อลูเมล (Alumel) คือโลหะผสมของนิกเกิล 95% อลูมิเนียม 2% แมงกานีส 2% และซิลิกอน 1% คอนสแตนแตน (Constantan) คือโลหะผสมของทองแดง 60% และนิกเกิล 40% เป็นต้น

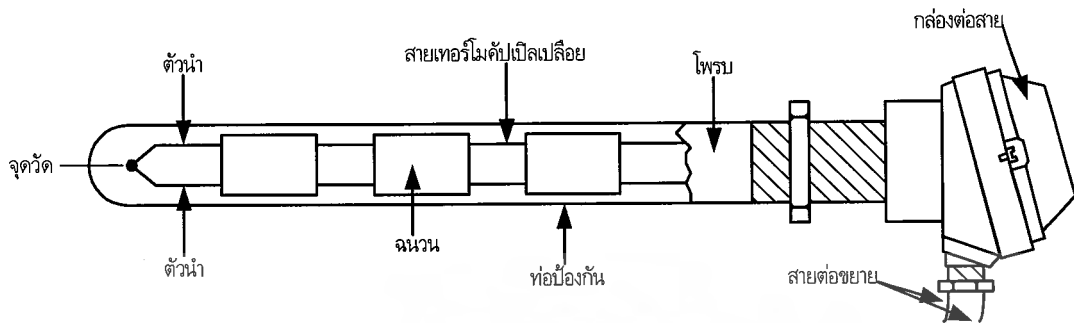
การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลควรเลือกใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับงานนั้นๆ โดยสิ่งที่ควรพิจารณามีหลายข้อ เช่น ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน ราคา ความกักความร้อนของสารที่เทอร์โมคัปเปิลสัมผัส ต้องใช้เทอร์โมเวลล์หรือไม่

2.3.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

2.3.2.1 โครงสร้าง

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวห่อป้องกันส่วนมากจะทำจากโลหะสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของห่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิกอนจะให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิ

เล็กทรินจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็นมากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนการเข้าถึงข้อมูลไว้เป็นของตนเอง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

ในทางปฏิบัติจุดต่อที่สัมผัสกับอุณหภูมิที่จุดวัดมีอยู่หลายๆ แบบ เช่น แบบบิดเข้าด้วยกันแล้วบัดกรีด้วยทองเหลืองหรือใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า ส่วนฉนวนที่ใช้หากว่าในงานที่สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำๆ มักจะเป็นสายเปลือย แต่เมื่ออุณหภูมิที่ต้องการวัดมีค่าสูง ก็ต้องมีท่อป้องกันแตกต่างกันออกไป ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด #30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในทางชีววิทยา

2.3.2.2 ย่านการใช้งาน

ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในบางงานอุณหภูมิที่จะวัดมีค่าสูงเป็นพิเศษ เช่น ในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน เครื่องยนต์จรวด และเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งอยู่ในช่วง 2,000 ถึง 4,500 °F จึงต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดพิเศษวัดอุณหภูมิ เช่น ชนิดโรเดียม - อิริเดียม/โรเดียม, ทังสแตน/รีเนียม และไบรอน/แกรไฟต์ โดยชนิดที่ประกอบด้วยโรเดียม - อิริเดียม ใช้งานได้ถึง 4,000 °F ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความไวอยู่ในช่วง 6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ โลหะผสมระหว่างทังสแตนและรีเนียมจะใช้งานได้ถึง 5000 °F ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความไวโดยประมาณจะเหมือนกับค่าที่อุณหภูมิสูงสุดของโรเดียม - อิริเดียม ในแบบไบรอน - แกรไฟต์ จะมีความไวสูงหากใช้งานระยะสั้นๆ จะวัดได้สูงสุด 4,500 °F

2.3.2.3 เวลาตอบสนอง

เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลจะขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จะใช้ท่อแบบหนาหรือท่อหุ้มในท่อป้องกันแบบสแตนเลสตีลซึ่งอาจจะมีเวลาตอบสนองในช่วง 10 ถึง 20 วินาที

2.3.2.4 การปรับสภาพสัญญาณ

ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กมากๆ จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ ซึ่งมีตัวขยายจากหลายบริษัท หลายแบบให้เลือก

2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน หมายถึง แบบที่ผู้ผลิตทุกรายกำหนดส่วนผสมของคู่สายเทอร์โมคัปเปิลเป็นมาตรฐานเหมือนกัน สามารถใช้ตารางสอบเทียบมาตรฐานที่หาได้ทั่วไป แต่แบบไม่มาตรฐานที่มีผู้ผลิตเสนอแบบที่มีคุณสมบัติเฉพาะกับเทอร์โมคัปเปิลตัวนั้น

นับตั้งแต่ซีเบ็คได้ค้นพบหลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลในปี ค.ศ. 1821 เป็นต้นมารายละเอียดในหลักการได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมาโดยตลอด และได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

2.3.3.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S

เทอร์โมคัปเปิลแบบ S นี้สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดีโดยสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1400°C หรือกับการใช้งานในระยะเวลานั้นๆ สามารถทนได้ถึง 1482°C แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่เป็นแบบ Reducing, Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของอลูมิเนียม เช่น อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง ถ้าจำเป็นต้องใช้จะต้องป้องกันด้วย Protecting Tube ที่เป็นแบบอลูมิเนียม อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงๆ เม็ดคาร์บอนของแพลทินัมจะพองตัวและแพลทินัมก็จะเกิดสกรอกได้ง่าย ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำลง จากการวิเคราะห์ส่วนผสมภายหลังการใช้งาน 20 ปี ส่วนผสมของโรเดียมจะเปลี่ยนสภาพเป็นพาลาเดียม ทำให้มีคุณสมบัติผิดไป การเปลี่ยนสภาพเช่นนี้จะเกิดกับเทอร์โมคัปเปิลทุกแบบที่มีส่วนผสมของโรเดียม

2.3.3.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R

เทอร์โมคัปเปิลแบบ R สายลบทำจากแพลทินัม สายบวกทำจากแพลทินัม 87% + โรเดียม 13% ผลที่ได้จะทำให้แบบ R ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S

เทอร์โมคัปเปิลแบบ R มีคุณสมบัติเหมือนกับแบบ S ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1400°C

2.3.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ B

เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1954 ในประเทศเยอรมัน สายบวกทำจากแพลทินัม 70% + โรเดียม 30% สายลบทำจากแพลทินัม 94% + โรเดียม 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลแบบ B จะให้แรงเคลื่อนต่ำกว่าแบบ S และแบบ R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือแข็งแรงและทนทานกว่า สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1704°C ในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum และในงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และแบบ S

2.3.3.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J

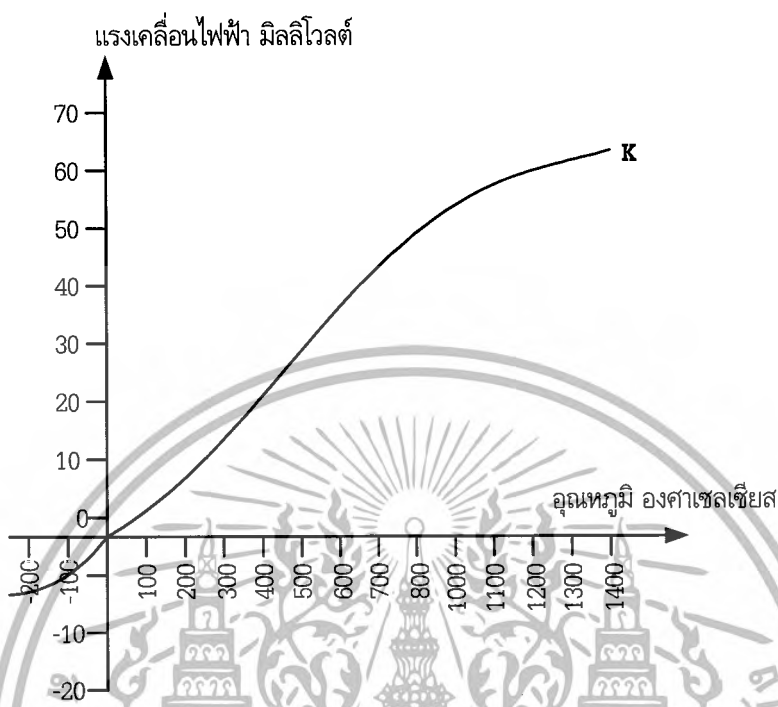
เนื่องจากแพลทินัมเป็นธาตุที่มีราคาแพง เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลงได้มีการค้นคว้าวัสดุที่มีราคาถูกกว่าเพื่อใช้แทนแพลทินัม วัสดุที่เริ่มทดลองใช้ เช่น เหล็ก นิกเกิล นิกเกิลบริสุทธิ์เปราะมากในสภาพงานที่เป็น Oxidizing จากการทดลองต่อมาพบว่า โลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง + 40% ของนิกเกิลที่ต่อมาเรียกว่า Constantan สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สายบวกรทำด้วยเหล็กและสายลบทำด้วย Constantan จึงถือกำเนิดขึ้น และต่อมากลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ J

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น Vacuum, Oxidizing, Reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 760°C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°C สายที่เป็นเหล็กจะเกิดเป็นสนิมด้วยอัตราสูงกว่าปกติมาก สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า 538°C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่จะช่วยให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น จากการทดลองใช้งานภายใน 20 ปี พบว่า ส่วนผสมของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนไป 0.5%

2.3.3.5 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่ใช้สายบวกรทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% + โครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีส และซิลิคอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมกันแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260°C และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250°C ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน

ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิตชิ้นหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้ จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้ระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ปัจจุบันได้ระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าว เพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ด้วยเหตุผลนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นมาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่โดยทั่วไปจะต้องผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (จุดคิวรี, curie point คือ อุณหภูมิซึ่งมันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้
2. ที่อุณหภูมิสูงๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน
4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์หรือในพื้นที่อื่นๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูงๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงในการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ) เป็นดังต่อไปนี้

1. Class -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
2. Class -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
3. Class -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C} \pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t คืออุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสี่สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลและเคเบิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30, 1993 (รหัสสี่ตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชนิดเซย์แบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชนิดเซย์สัญญาณ (ชนิด VX) ก็เหมือนกับสี่ด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

1. เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
2. สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้นๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
3. สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิง หรือสภาวะปฏิกิริยาแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่นๆ
4. สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
5. ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิต่ำกว่าแบบอื่นๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

1. ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิง และออกซิไดซิงโดยตรง
2. ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
3. ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในระยะเวลาสั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.6 เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่าง ๆ

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ (mV)
		°C	°F	
B	แพลตินัม – 30% โรเดียม แพลตินัม – 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลตินัม – 13% โรเดียม แพลตินัม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	- 02.26 ถึง 21.108
S	แพลตินัม – 10% โรเดียม แพลตินัม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	- 0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	- 350 ถึง 1400	- 8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล / อลูเมล	- 270 ถึง 1372	- 450 ถึง 2500	- 6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	- 450 ถึง 750	- 6.258 ถึง 20.869
E	โครเมล / คอนสแตนแตน	- 270 ถึง 1000	- 450 ถึง 1830	- 9.835 ถึง 76.358

จากตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

2.4 วิธีการวัดอุณหภูมิของเนื้อสุกร

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ความสะอาดและความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงคุณภาพของวัตถุดิบในการทำอาหารด้วย ในโรงฆ่าและเนื้อสุกรก็มีการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสุกร ด้วยการวัดอุณหภูมิภายในเนื้อสุกรด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ซึ่งในการตรวจวัดอุณหภูมิแต่ละชุดจะต้องมีการจดบันทึกค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจะทำการวัดถึง 3 ครั้งต่อ 1 ชุด และต้องจดบันทึกทุกครั้ง จะเห็นว่าวิธีการวัดใช้เวลาไม่สะดวก

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการจดบันทึกข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิ

ชุดที่	ครั้งที่	ค่าอุณหภูมิที่วัด ได้ ($^{\circ}\text{C}$)	วัน/เดือน/ปี ชั่วโมง:นาที:วินาที	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้ ($^{\circ}\text{C}$)
1	1	2.4	21/1/2548 14:36:12	2.73
	2	2.6	21/1/2548 14:38:26	
	3	3.2	21/1/2548 14:39:30	
2	1	3.2	21/1/2548 14:41:56	2.73
	2	2.7	21/1/2548 14:42:48	
	3	2.3	21/1/2548 14:44:36	
3	1	2.4	21/1/2548 14:46:15	2.66
	2	2.5	21/1/2548 14:48:44	
	3	3.1	21/1/2548 14:50:21	
4	1
:				
n				

จากตารางที่ 2.2 เป็นตัวอย่างการจดบันทึกข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิเมื่อสุกรโดยต้องจดบันทึกทั้งวัน เวลา ขณะที่วัดอุณหภูมิ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ทำการวัดทั้ง 3 ครั้ง การวัดอุณหภูมิเมื่อสุกรในแต่ละวันจะต้องจดบันทึกค่าอุณหภูมิอยู่หลายชุดด้วยกัน หากใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สามารถวัดอุณหภูมิได้และยังบันทึกวัน เวลา ขณะที่วัดอุณหภูมิไปพร้อมๆ กัน นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยให้โดยอัตโนมัติแล้ว ก็จะช่วยให้การทำงานง่ายและสะดวกขึ้นอย่างมาก

2.5 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม

ใช้แก้ปัญหาอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่มีค่าต่ำมากๆ จึงต้องวงจรตามแรงเคลื่อนเข้าที่อินพุตทั้งสองเพื่อจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตมีค่าสูงขึ้นผลดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม

แต่เมื่อต้องวงจรดังกล่าวไว้ ก็ยังคงยากต่อการเปลี่ยนอัตราขยายซึ่งต้องปรับตัวต้านทานถึงสองตัว จึงพัฒนามาใช้รูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นวงจรขยายทางเครื่องมือวัดที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อาจเรียกวงจรดังกล่าวว่า วงจรขยายแบบออปแอมป์ 3 ตัว

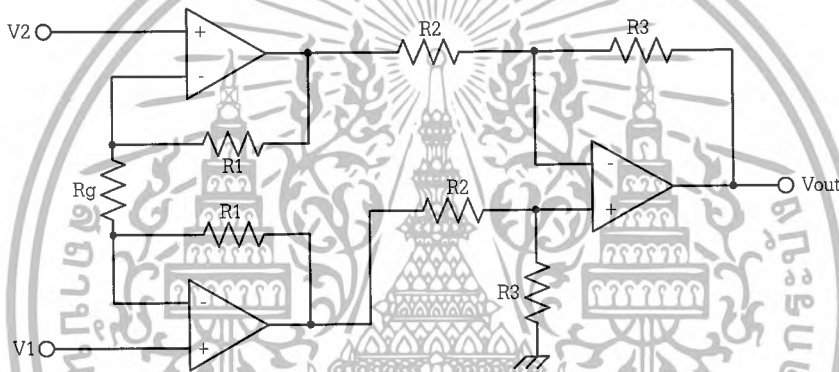
ข้อสังเกตจากวงจรขยายแบบออปแอมป์สามตัวคือ

1. สามารถปรับอัตราขยายได้โดยเปลี่ยนตัวต้านทานเพียงตัวเดียวคือ R_9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราส่วนการส่งคืนโหมมตร่วมของวงจรนี้ ยังคงแปรตามตัวต้านทาน R_g ที่ต้องรักษาให้เท่ากันพอดี แต่ก็จะไม่แปรตามตัวต้านทาน R_1 ทั้งสองตัว
3. มีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่สูงมาก ส่วนอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำมาก
4. IA มีสองสเตจ สเตจแรกมีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตสูง สเตจที่สองคือ ตัวขยายความแตกต่าง ซึ่งเป็นส่วนของเอาต์พุต
5. ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของการขยายแบบนี้จะมีค่าเป็น

$$V_{out} = (1 + 2R_1/R_g)(R_3/R_2)(V_2 - V_1) \quad (2.1)$$



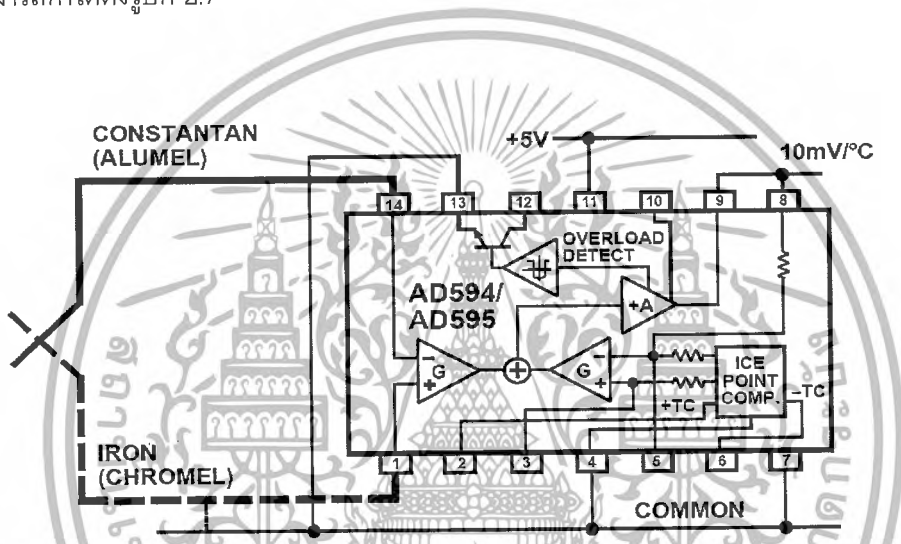
รูปที่ 2.6 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดที่สามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้

ไอซีบางตัวที่ผลิตขึ้นจะกำหนดอัตราขยายตายตัว แต่ผู้ใช้ก็สามารถเลือกค่า R_g จากภายนอกมาต่อเพื่อเลือกอัตราขยายได้ จึงมั่นใจว่าจะได้อัตราการส่งคืนโหมมตร่วมที่สูงๆ ตัวอย่างของไอซีแบบนี้ได้แก่ เบอร์ AD524 เป็นต้น

วงจรอปแอมป์ดังกล่าวมักใช้แพร่หลายในการวัดตัวแปรในกระบวนการ ตัวอย่างเช่น ใช้ขยายสัญญาณที่ออกจากสเตรนเกจซึ่งต่อกับวงจรบริดจ์อีกทีหนึ่ง

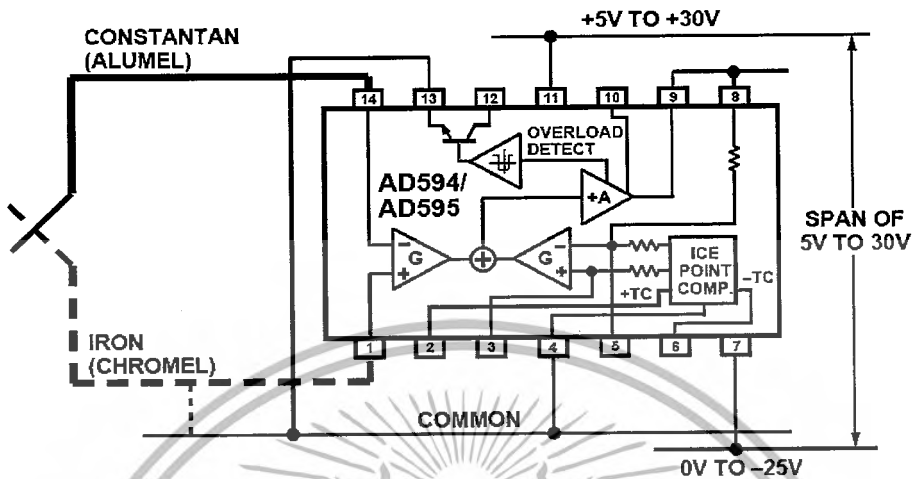
2.6 ไอซีขยายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล AD595

ไอซีเบอร์ AD595 เป็นตัวขยายในทางเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมที่มีตัวชดเชยจุดเย็นของเทอร์โมคัปเปิลบนชิพ ซึ่งรวมจุดอ้างอิงศูนย์กับตัวขยายที่สามารถสอบเทียบได้เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อขยายระดับแรงเคลื่อนเอาต์พุตให้มีค่าสูง ($10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$) โดยตรงจากสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล และสามารถเลือกต่อขาเพื่อใช้เป็นตัวชดเชย-ขยายแบบเชิงเส้นหรือเป็นสวิตช์เพื่อสอบเทียบเซตพอยต์ของเครื่องควบคุมกระบวนการ โดยวิธีการควบคุมแบบค่าคงที่หรือควบคุมจากระยะไกลก็ได้ การเชื่อมต่อไอซีเบอร์ AD595 กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K สามารถทำได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อ AD595 กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ไอซีเบอร์ AD595 สามารถจ่ายกำลังได้จากแหล่งจ่ายแบบปลายเดี่ยว (+5V) และวัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C ได้ถ้าใช้แหล่งจ่ายลบดังรูปที่ 2.8 เพื่อให้ผลของการเกิดความร้อนด้วยตัวเองต่ำสุดในขณะที่ยังไม่มีโหลด ไอซี AD595 จะทำงานด้วยกระแสเพียง 160 ไมโครแอมป์ แต่ก็สามารถทำงานได้มากกว่า +5 มิลลิแอมป์ ขณะที่มีการจ่ายโหลด ไอซีเบอร์ AD595 ใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (โครเมล - อลูเมล) นอกจากนี้ยังสามารถสอบเทียบเพื่อใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่นๆ ได้อีกโดยต่อตัวต้านทานเพิ่มเข้าไป 2 หรือ 3 ตัว



รูปที่ 2.8 การจ่ายไฟเพื่อให้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C

การแก้ไขให้ระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลให้ทำงานดีขึ้น ต้องปฏิบัติดังนี้

1. ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่ฟุ้งเอาความร้อนออกจากพื้นที่การวัดเข้ามา
2. ถ้าต้องใช้สายขนาดเล็กๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัดและใช้สายขยายในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย
3. หลีกเลี่ยงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
4. เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาวๆ ให้ต่อซิลด์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดีจิตอลโวลต์มิเตอร์และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิตเกลียว
5. หลีกเลี่ยงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลางสาย
6. พยายามเลือกใช้สายเทอร์โมคัปเปิลในพิสัยอุณหภูมิของมัน
7. ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสายน้อยๆ
8. ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลหลายๆ ไร่ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตที่ย่านอุณหภูมิต่างๆ ของไอซีเบอร์ AD595

Thermocouple Temperature (°C)	Type K Voltage (mV)	AD595 Output (mV)
-80	-2.920	-719
-60	-2.243	-552
-40	-1.527	-375
-20	-0.777	-189
-10	-0.392	-94
0	0	2.7
10	397	101
20	798	200
25	1,000	250
30	1,203	300
40	1,611	401
50	2,033	503
60	2,436	605
80	3,266	810
100	4,095	1015
120	4,919	1219

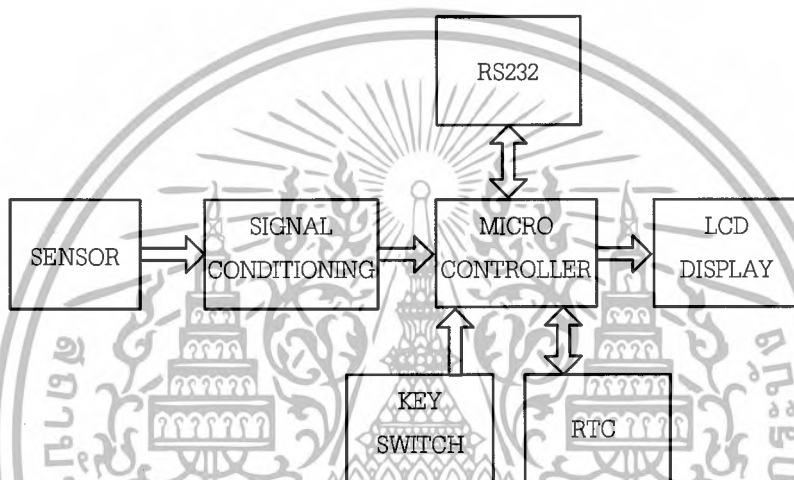
จากตารางที่ 2.3 จะแสดงถึงการเปรียบเทียบค่าแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตที่ย่านอุณหภูมิต่างๆ ของไอซีเบอร์ AD595 กับเทอร์โมมิเตอร์ชนิด K เพื่อนำไปใช้ในการปรับเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรีให้ถูกต้องและเที่ยงตรงต่อไป

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรแสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรปรับสภาพสัญญาณ ไอซีฐานเวลาจริง คีย์สวิตช์ ส่วนการแสดงผล ส่วนของการถ่ายโอนข้อมูล และเซนเซอร์ที่ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F 876 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกและมีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง นอกจากนี้ยังมีโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียดสูงสุดถึง 10 บิต โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากวงจรปรับสภาพสัญญาณซึ่งรับสัญญาณมาจากเทอร์โมคัปเปิลอีกทีหนึ่ง เพราะเทอร์โมคัปเปิลไม่สามารถต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลมีค่าที่เล็กมาก และจะมีค่าเป็นลบหากอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลมาต่อเข้ากับวงจรปรับสภาพสัญญาณก่อน เพื่อปรับสภาพสัญญาณให้มีค่าเหมาะสม ก่อนที่จะต่อเข้ากับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรปรับสภาพสัญญาณที่ใช้ในเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรใช้อิซีเบอร์ AD595 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ปรับสภาพสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณแอนะล็อกเข้ามา โมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ก็จะแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นค่าดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณค่าดิจิทัลที่ได้ให้เป็นค่าอุณหภูมิเพื่อที่จะแสดงผลทางจอแอลซีดี และบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำ นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายโอนข้อมูลผ่านทางพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมได้อีกด้วย

3.1.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

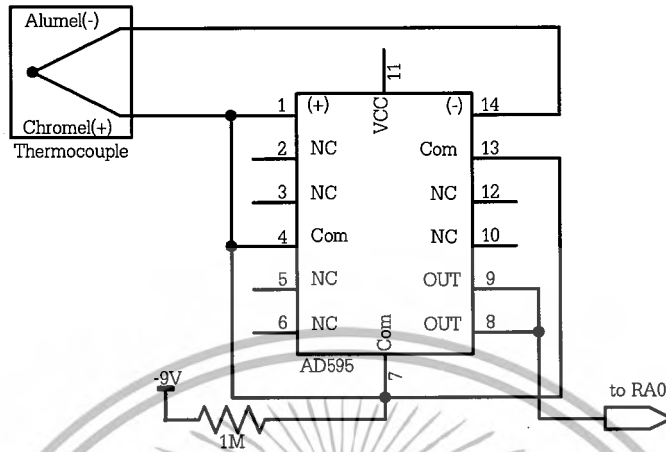
เมื่อต้องการวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ก็ทำการเสียบโพรบซึ่งมีลักษณะปลายแหลมเข้าไปในเนื้อสุกรจากนั้นโพรบจะส่งสัญญาณแอนะล็อก ให้กับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเก็บข้อมูลครบ 3 ครั้ง แล้วกดปุ่ม Memo ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลทั้ง 3 ครั้ง มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเก็บไว้ในอีอีพรอมซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ 8 กิโลไบต์ (kByte) ค่าที่เก็บไว้ในอีอีพรอมประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยที่หาแต่ละครั้ง เวลา วัน เดือน ปี ที่เก็บข้อมูล

การแสดงผลการทำงานจะแสดงผ่านจอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ภายในหน่วยความจำอีอีพรอมเมื่อข้อมูลที่เก็บไว้เต็ม สามารถกดปุ่ม Send เพื่อถ่ายโอนข้อมูลออกทางโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโมดูลนี้เชื่อมต่ออยู่กับ MAX232 ข้อมูลที่ส่งออกไปสามารถทำเป็น Text files เพื่อเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและพิมพ์เป็นเอกสารได้

3.2 การออกแบบวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

3.2.1 วงจรปรับสภาพสัญญาณ

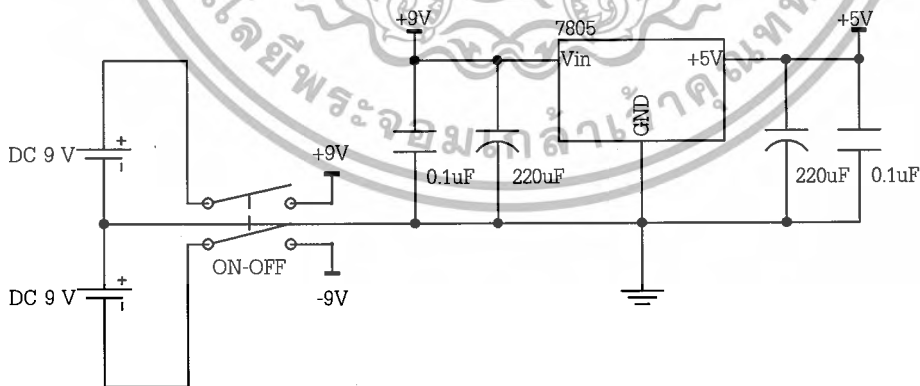
เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สามารถนำมาต่อกับไอซีวัดอุณหภูมิ AD595 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นตัวขยายในทางเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมที่มีตัวชดเชยจุดเย็นของเทอร์โมคัปเปิล ภายในไอซีเบอร์ AD595 จะมีตัวป้องกันการลัมเหลวของเทอร์โมคัปเปิล นอกจากนี้ยังสามารถแยกได้ว่าสายตัวนำเส้นหนึ่งเส้นใดหรือทั้งคู่ขาดออกจากกัน ส่วนค่าทางด้านเอาต์พุตที่ใช้ในการเตือนสามารถนำไปขับ TLL ได้โดยตรงอีกด้วย ในการออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรได้นำสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลมาต่อเข้ากับขาอินพุตของไอซีเบอร์ AD595 เพื่อจัดสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0-5V แล้วจึงนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก AD595 ต่อเข้ากับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ

3.2.2 วงจรภาคจ่ายไฟ

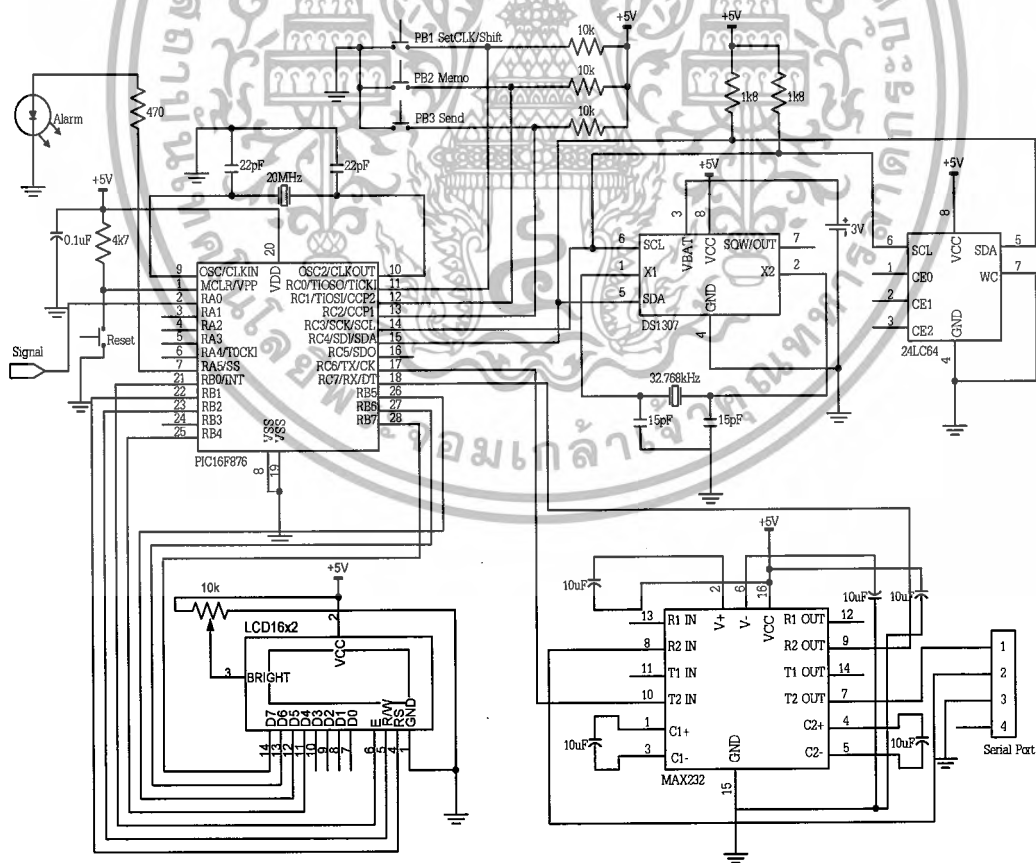
วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรใช้แบตเตอรี่ 9V จำนวน 2 ก้อน เพื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า +9V และแรงเคลื่อนไฟฟ้า -9V ด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้า -9V นั้นจ่ายให้กับวงจรปรับสภาพสัญญาณ ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้า +9V จ่ายให้กับวงจรเรกกูเลต +5V ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบด้วยไอซีเบอร์ 7805 เพื่อจ่าย VCC ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ



รูปที่ 3.3 วงจรภาคจ่ายไฟ

3.2.3 การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

วงจรในแต่ละส่วนที่ออกแบบ ถูกนำมาเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 3.4 เพื่อทำให้เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรทำงานได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับแบตเตอรี่ ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9V จำนวน 2 ก้อน เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด +9V และ -9V แรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านไฟลบนั้น ถูกนำมาใช้กับวงจรปรับสภาพสัญญาณโดยใช้ไอซีเบอร์ AD595 ปรับสัญญาณที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น และมีขนาดที่เล็กมาก ให้เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากขึ้น และขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0-5V เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ สัญญาณแอนะล็อกที่ได้จะส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา RA0 เพื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อกดปุ่ม Memo ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บค่านี้ไว้ในบัพเฟอร์ ทำการวัดค่าอุณหภูมิจนครบ 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งกดปุ่ม Memo เพื่อเก็บค่าที่วัดจากนั้นกดปุ่ม Memo อีกครั้ง เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงกดปุ่ม Send ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ เวลา วัน เดือน ปี ขณะทีวัดไปแสดงที่หน้าจอบจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นี้ ใช้การเชื่อมต่อทางพอร์ตอนุกรม

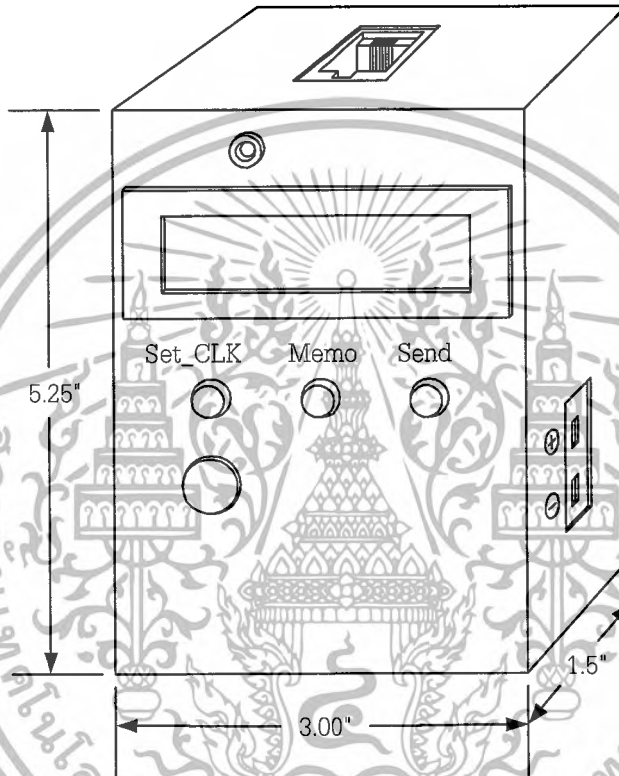


รูปที่ 3.4 การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพียงในพิธีการเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

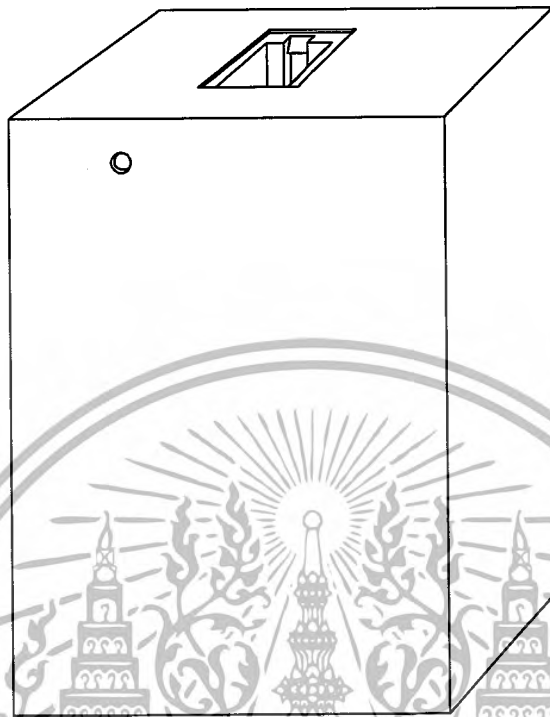
3.2.4 การออกแบบตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

ตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรใช้กล่องขนาด 5.25"x3.00"x1.50" โดยมีปุ่ม เปิด-ปิด อยู่ด้านหน้าและ ปุ่มควบคุมการงาน 3 ปุ่ม ปุ่มที่ 1 เป็นปุ่ม Set_CLK ใช้เมื่อต้องการตั้งเวลา ปุ่มที่ 2 เป็นปุ่ม Memo ใช้ในการบันทึกข้อมูล และปุ่มที่ 3 เป็นปุ่ม Send ใช้สำหรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมดังรูปที่ 3.5

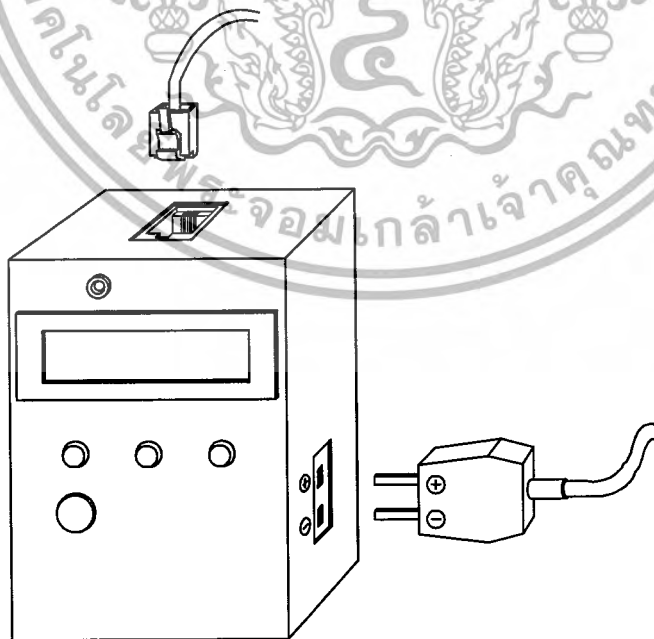


รูปที่ 3.5 ด้านหน้าของตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

ด้านข้างเป็นช่องสำหรับต่อกับเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร โดยที่บริเวณช่องต่อเทอร์โมคัปเปิลจะมีเครื่องหมายบวกและลบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถต่อเทอร์โมคัปเปิลได้ถูกต้อง ส่วนด้านหลังมีช่องสำหรับกตรีเซตดังรูปที่ 3.6 และด้านบนมีพอร์ตสำหรับต่อสายไหลตข้อมูลเข้ากับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ด้านหลังของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

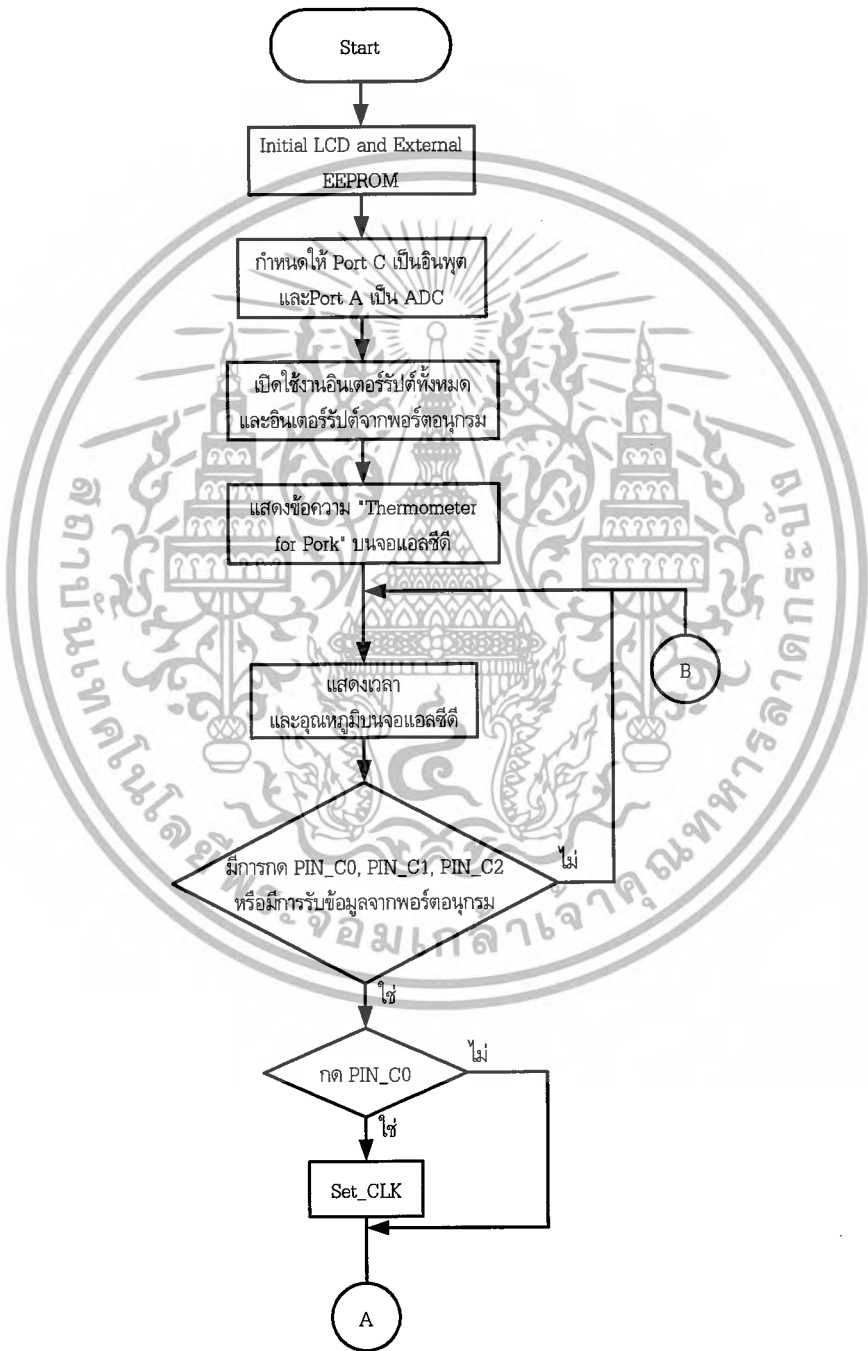


รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเพื่อใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

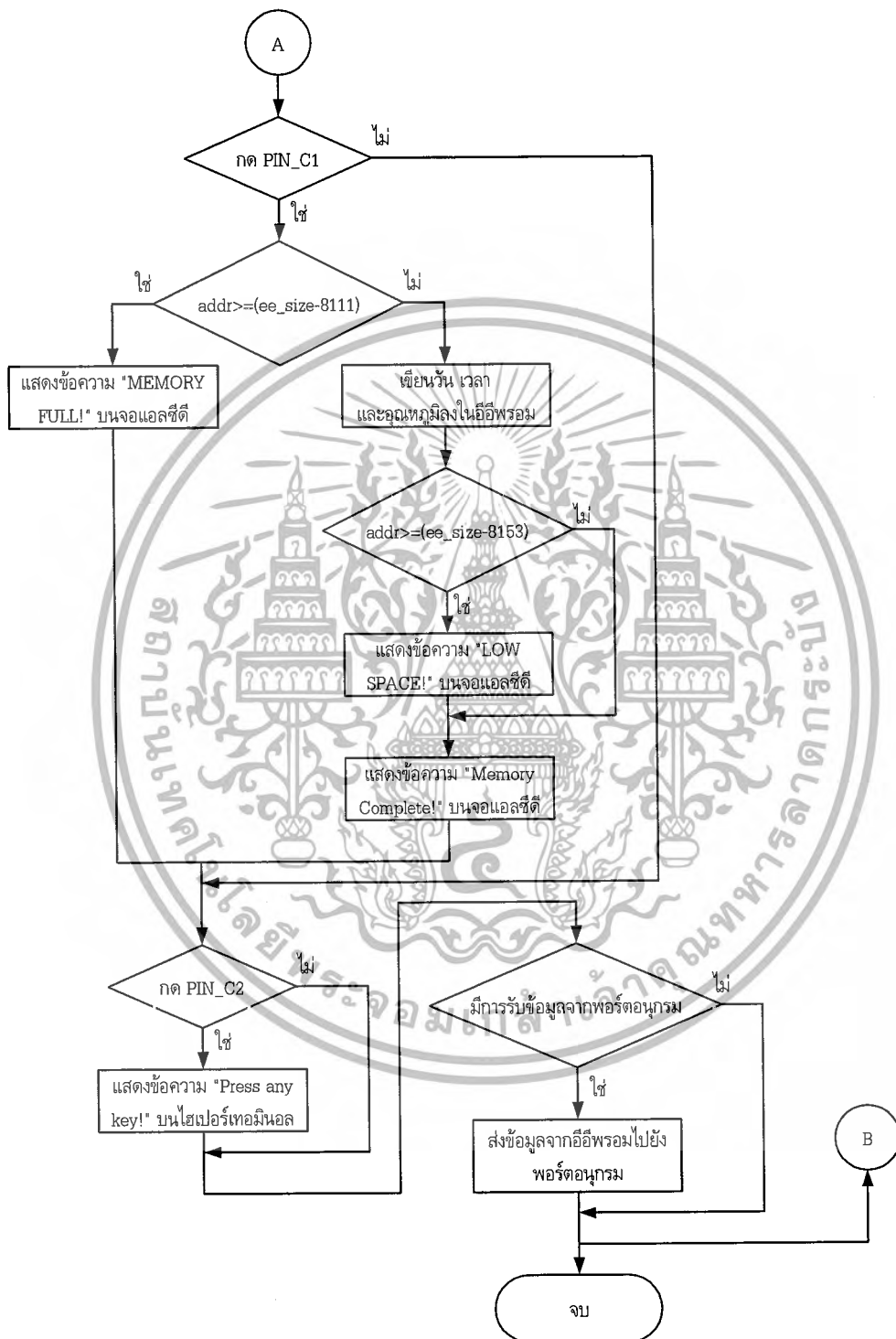
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

ในส่วนของซอฟต์แวร์ เป็นการเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ซึ่งโปรแกรมหรือคำสั่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ช ส่วนแผนผังการทำงานของโปรแกรมแสดงดังในรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรม
 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ของโครงการเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรว่าทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร เพื่อให้ง่ายในการทดลองและการตรวจสอบการทำงานของระบบ จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การทดลองการแสดงผล ส่วนที่ 2 การทดลองการรับส่งข้อมูล และส่วนที่ 3 การทดลองหาค่าความผิดพลาด

4.2 การทดลองการแสดงผล

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรแสดงผลทางจอแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ทำการทดลองโดยการกดสวิตช์ 3 ตัว ซึ่งเมื่อกดแต่ละตัวจะแสดงผลแตกต่างกัน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับการทดลองตามรูปที่ 4.1

```
#include <16F876.h>
#fuses HS, NOLVP, NOWDT, NOPROTECT
#use delay(clock=20000000)
#define use_portb_lcd
#include "lcd.c"

void main() {
    lcd_init();
    set_tris_c(0xFF);
    lcd_putc("\f****Test LCD****");
```

รูปที่ 4.1 โปรแกรมการทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(1500);
while(TRUE){
    if(!input(PIN_C0)){
        lcd_send_byte(0, 0x01);
        delay_ms(500);
        lcd_putc("\fSW1 Ready!\nLCD Ready!");
        delay_ms(1500);
    }
    if(!input(PIN_C1)){
        lcd_send_byte(0, 0x01);
        delay_ms(500);
        lcd_putc("\fSW2 Ready!\nLCD Ready!");
        delay_ms(1500);
    }
    if(!input(PIN_C2)){
        lcd_send_byte(0, 0x01);
        delay_ms(500);
        lcd_putc("\fSW3 Ready!\nLCD Ready!");
        delay_ms(1500);
    }
}
}

```

รูปที่ 4.1 (ต่อ) โปรแกรมการทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี

2. เปิดเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อสุกร สังเกตที่จอแสดงผล
3. กดสวิตช์ตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สังเกตที่จอแสดงผล

4.2.2 ผลการทดลอง

1. เมื่อเปิดเครื่อง ที่จอแสดงผลแสดงข้อความ "****Test LCD****" ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดลองการแสดงผลทางจอแอลซีดี

2. เมื่อกดสวิตช์ตัวที่ 1 ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจอแสดงผลบรรทัดที่ 1 จะแสดงข้อความ SW1 Ready! และบรรทัดที่ 2 จะแสดงข้อความ LCD Ready! แสดงว่าสวิตช์ตัวที่ 1 สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



รูปที่ 4.3 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิตช์ตัวที่ 1

3. เมื่อกดสวิตช์ตัวที่ 2 ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจอแสดงผลบรรทัดที่ 1 จะแสดงข้อความ SW2 Ready! และบรรทัดที่ 2 จะแสดงข้อความ LCD Ready! แสดงว่าสวิตช์ตัวที่ 2 สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิตซ์ตัวที่ 2

4. เมื่อกดสวิตซ์ตัวที่ 3 ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจอแสดงผลบรรทัดที่ 1 จะแสดงข้อความ SW3 Ready! และบรรทัดที่ 2 จะแสดงข้อความ LCD Ready! แสดงว่าสวิตซ์ตัวที่ 3 สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



รูปที่ 4.5 การแสดงผลทางจอแอลซีดีเมื่อกดสวิตซ์ตัวที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการรับส่งข้อมูล

การรับส่งข้อมูลของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรประกอบด้วย การรับส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ I²C และการติดต่อกับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม (RS 232) ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.3.1 การทดลองการติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ I²C

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรมีอุปกรณ์ I²C ที่ใช้ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ 2 อย่างด้วยกัน คือ DS1307 ไอซีฐานเวลาจริง (RTC) และอีอีพรอมเบอร์ 24LC64 โดยการทำงานของเครื่องนั้นสามารถแสดงเวลาและบันทึกเป็นข้อมูลเก็บไว้ในอีอีพรอม ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.3.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรจากนั้นกดสวิทช์ตัวที่ 1 เพื่อทำการตั้งเวลา
2. ทำการตั้งเวลา สังเกตการแสดงผลที่จอแอลซีดี
3. กดสวิทช์ตัวที่ 2 เพื่อบันทึกเวลาที่กดเป็นข้อมูลเก็บไว้ในอีอีพรอม
4. สังเกตการแสดงผลที่จอแอลซีดี

4.2.1.2 ผลการทดลอง

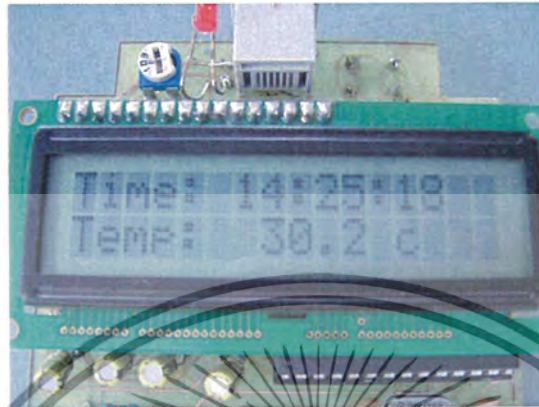
1. เมื่อกดสวิทช์ตัวที่ 1 ทำการตั้งเวลาได้ ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 14 เดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2548



รูปที่ 4.6 ทำการตั้งเวลาโดยกดสวิทช์ตัวที่ 1

2. เมื่อตั้งเวลาเรียบร้อยแล้ว จะแสดงผลดังรูปที่ 4.7 จอแอลซีดีจะแสดงเวลาที่ทำการทดลองในบรรทัดที่ 1 และแสดงอุณหภูมิที่ทำการทดลองในบรรทัดที่ 2 ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้อง 30.2 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การแสดงผลเมื่อตั้งเวลาเรียบร้อยแล้ว

3. ทำการกดสวิตช์ตัวที่ 2 เพื่อบันทึกข้อมูลที่ทำการทดลองในขณะนั้น เมื่อบันทึกเรียบร้อยแล้วจอแอลซีดีจะแสดงข้อความ "Memory Complete!" ดังรูปที่ 4.8



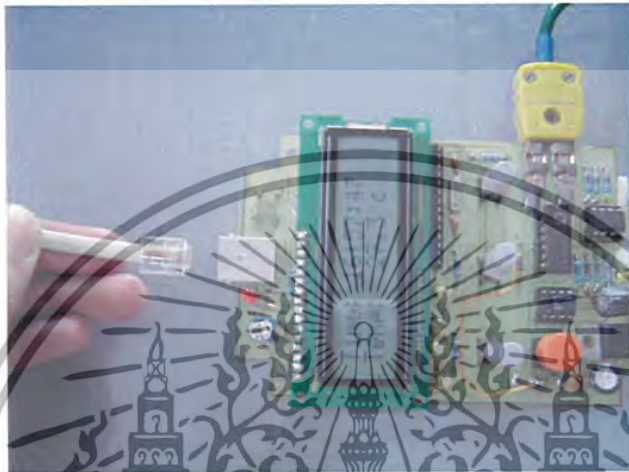
รูปที่ 4.8 การแสดงผลเมื่อบันทึกข้อมูลโดยกดสวิตช์ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดลองการติดต่อกับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม(RS232)

4.3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อเครื่องวัดเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.9



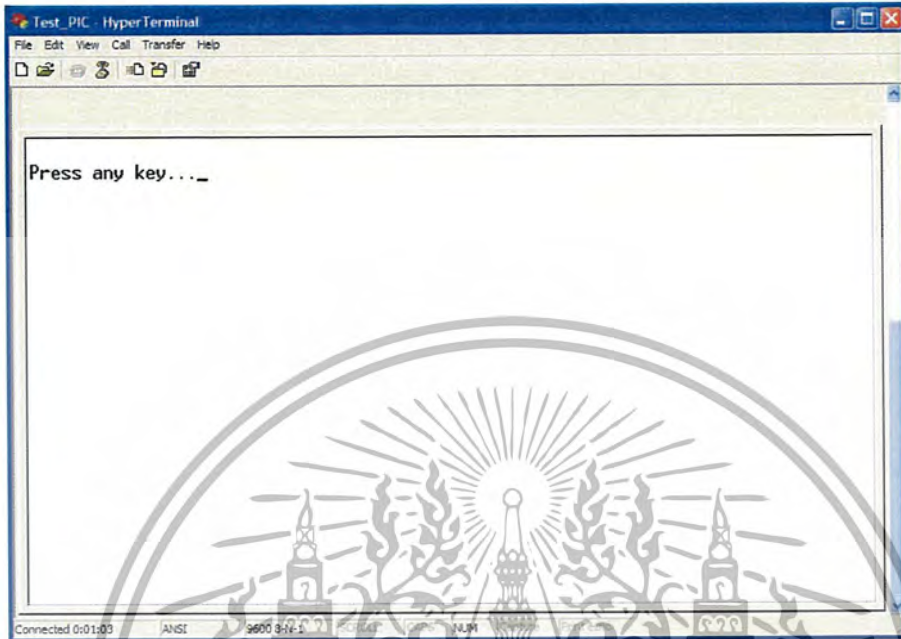
รูปที่ 4.9 การเชื่อมต่อเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

2. เปิดโปรแกรม HyperTerminal
3. กดสวิตช์ตัวที่ 3 ที่เครื่องวัด จะต้องมึข้อความแสดงที่โปรแกรมว่า "Press any key..."
4. หากมีข้อความตามข้อ 3 ให้กดคีย์บนคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ สังเกตการแสดงผลที่โปรแกรม

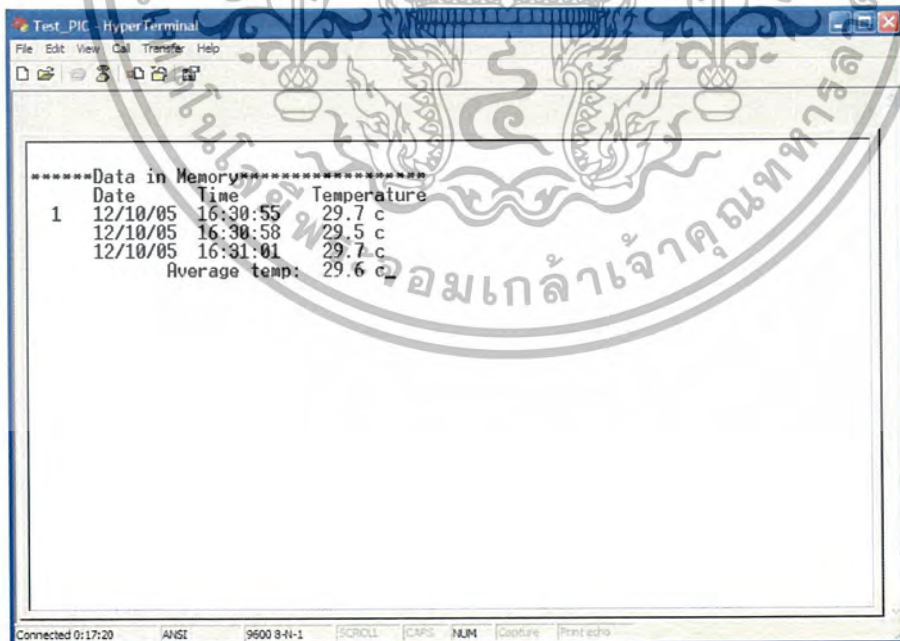
4.2.1.2 ผลการทดลอง

1. เมื่อกดสวิตช์ตัวที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร เครื่องจะส่งข้อความ "Press any key..." ผ่านพอร์ตอนุกรมไปแสดงที่โปรแกรม HyperTerminal เพื่อรอการตอบรับจากคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.10
2. เมื่อกดคีย์บนคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ เพื่อตอบรับการส่งของข้อมูล ข้อมูลที่เก็บไว้ในอีมี่พรอมจะถูกส่งไปแสดงยังโปรแกรม HyperTerminal ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การแสดงผลโปรแกรม HyperTerminal เมื่อกดสวิตซ์ตัวที่ 3



รูปที่ 4.11 ผลการตอบรับการส่งของข้อมูล เมื่อกดคีย์ที่คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรจะทำโดยวัดเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างทรายบล็อกที่เสตไว้กับอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรและเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างทรายบล็อกที่เสตไว้กับอุณหภูมิที่วัดได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

4.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ทรายบล็อก ยี่ห้อ ISOTECH รุ่น ISOCAL -6 VENUS 2140S ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีย่านการใช้งาน -55 ถึง 140 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ลักษณะของทรายบล็อกยี่ห้อ ISOTECH

2. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ MOTHER TOOL รุ่น MT-806 มีย่านการใช้งาน -50 ถึง 280 องศาเซลเซียส
3. เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

4.4.3 วิธีการทดลอง

1. ปรับค่าอุณหภูมิของทรายบล็อกไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส อ่านค่าและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์เสียบในช่องทดลองของตราขบล็อกดังรูปที่ 4.13 ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 นาทีต่อการวัด 1 ครั้ง เพื่อให้อุณหภูมิที่ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์คงที่ ทำการอ่านค่าและบันทึกผล



รูปที่ 4.13 การเสียบดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ในช่องทดลองของตราขบล็อกด

3. นำดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ออกจากช่องเสียบของตราขบล็อกด เพื่อให้เกิดการคลายตัวของอุณหภูมิ ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 4 นาที ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 จนครบทั้งหมด 8 ครั้ง
4. นำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเสียบในช่องทดลองของตราขบล็อกดดังรูปที่ 4.13 ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 นาทีต่อการวัด 1 ครั้ง เพื่อให้อุณหภูมิที่เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรคงที่ กดสวิทช์ปุ่มที่ 2 บันทึกผลการทดลองลงในเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร โดยทำการกดบันทึกผลจำนวน 3 ครั้ง ทั้งช่วงในการกดบันทึกผล 30 วินาทีต่อครั้ง พร้อมทั้งอ่านค่าเฉลี่ยที่ได้และบันทึกผล
5. นำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรออกจากช่องเสียบของตราขบล็อกด เพื่อให้เกิดการคลายตัวของอุณหภูมิ ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 4 นาที ทำการทดลองซ้ำข้อ 4 จนครบทั้งหมด 8 ครั้ง
6. ปรับค่าอุณหภูมิของตราขบล็อกดให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศาเซลเซียสเป็น -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 และ 100 ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 ถึงข้อ 5 จนครบทั้งหมด 200 ค่า บันทึกผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดลงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากรายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
1	-20	-21	-21
2	-20	-21	-21
3	-20	-21	-20
4	-20	-21	-20
5	-20	-21	-20
6	-20	-21	-20
7	-20	-21	-20
8	-20	-21	-20
9	-15	-16.2	-15
10	-15	-16.2	-15
11	-15	-16.2	-16
12	-15	-16.2	-17.1
13	-15	-16.2	-16
14	-15	-16.2	-16
15	-15	-16.2	-16.5
16	-15	-16.2	-17.1
17	-10	-10.4	-10.8
18	-10	-10.4	-10.8
19	-10	-10.4	-9.9
20	-10	-10.4	-11
21	-10	-10.4	-12
22	-10	-10.4	-9.9
23	-10	-10.4	-11
24	-10	-10.4	-12
25	-5	-5.8	-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากรายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
26	-5	-5.8	-6
27	-5	-5.8	-6
28	-5	-5.8	-7
29	-5	-5.8	-4.8
30	-5	-5.8	-5
31	-5	-5.8	-8
32	-5	-5.8	-7
33	0	0	-0.5
34	0	0	0
35	0	0	0
36	0	0	0
37	0	0	-0.9
38	0	0	0
39	0	0	-0.9
40	0	0	-2.0
41	5	4.8	5
42	5	4.8	4
43	5	4.8	4
44	5	4.8	5
45	5	4.8	4
46	5	4.8	4
47	5	4.8	4
48	5	4.8	5
49	10	9.9	7.3
50	10	9.9	9.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากรายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
51	10	9.9	9.2
52	10	9.9	10
53	10	9.9	10
54	10	9.9	10
55	10	9.9	10
56	10	9.9	9.2
57	15	15	12.5
58	15	15	12.5
59	15	15	12.5
60	15	15	13.3
61	15	15	15
62	15	15	14.2
63	15	15	15
64	15	15	14.2
65	20	20	20
66	20	20	20
67	20	20	20
68	20	20	20
69	20	20	20
70	20	20	20
71	20	20	20
72	20	20	20
73	25	25.1	24.2
74	25	25.1	24.2
75	25	25.1	23.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากทรายนบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
76	25	25.1	24.2
77	25	25.1	24.3
78	25	25.1	23.3
79	25	25.1	24.2
80	25	25.1	23.3
81	30	30.1	27.5
82	30	30.1	27.5
83	30	30.1	27.5
84	30	30.1	27.5
85	30	30.1	27.5
86	30	30.1	27.5
87	30	30.1	27.5
88	30	30.1	27.5
89	35	35.1	32
90	35	35.1	32
91	35	35.1	32
92	35	35.1	32
93	35	35.1	32
94	35	35.1	32.2
95	35	35.1	32
96	35	35.1	32.2
97	40	40.1	36.9
98	40	40.1	36.9
99	40	40.1	37.3
100	40	40.1	37.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากทรายนบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
101	40	40.1	36.9
102	40	40.1	37.3
103	40	40.1	37.3
104	40	40.1	37.3
105	45	45.3	44.6
106	45	45.3	44.6
107	45	45.3	44.6
108	45	45.3	44.9
109	45	45.3	44.9
110	45	45.3	44.9
111	45	45.3	44.9
112	45	45.3	44.9
113	50	50.3	50.3
114	50	50.3	50.3
115	50	50.3	50.3
116	50	50.3	50.1
117	50	50.3	50.1
118	50	50.3	50.1
119	50	50.3	50.1
120	50	50.3	50.1
121	55	55.3	54.4
122	55	55.3	54.4
123	55	55.3	54.4
124	55	55.3	54.4
125	55	55.3	54.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากรายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
126	55	55.3	54.9
127	55	55.3	54.9
128	55	55.3	54.9
129	60	60.3	61.2
130	60	60.3	61.2
131	60	60.3	61.2
132	60	60.3	61.2
133	60	60.3	61.2
134	60	60.3	61.2
135	60	60.3	61.2
136	60	60.3	61.2
137	65	65.3	65.0
138	65	65.3	65.0
139	65	65.3	65.5
140	65	65.3	65.5
141	65	65.3	65.5
142	65	65.3	65.5
143	65	65.3	65.5
144	65	65.3	65.5
145	70	70.5	70.7
146	70	70.5	70.7
147	70	70.5	70.7
148	70	70.5	70.7
149	70	70.5	71.0
150	70	70.5	71.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากรายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
151	70	70.5	71.0
152	70	70.5	71.0
153	75	75.5	75.5
154	75	75.5	75.5
155	75	75.5	75.5
156	75	75.5	75.6
157	75	75.5	75.6
158	75	75.5	75.6
159	75	75.5	75.6
160	75	75.5	75.6
161	80	80.5	80.6
162	80	80.5	80.6
163	80	80.5	80.6
164	80	80.5	81.1
165	80	80.5	81.1
166	80	80.5	81.1
167	80	80.5	81.1
168	80	80.5	81.1
169	85	85.5	86.3
170	85	85.5	86.3
171	85	85.5	86.3
172	85	85.5	86.3
173	85	85.5	86.3
174	85	85.5	86.1
175	85	85.5	86.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิที่อ่านได้ จากครายบล็อก (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (°C)
176	85	85.5	86.1
177	90	90.5	89.7
178	90	90.5	89.7
179	90	90.5	89.7
180	90	90.5	89.7
181	90	90.5	90.1
182	90	90.5	90.1
183	90	90.5	90.1
184	90	90.5	94.5
185	95	95.7	94.5
186	95	95.7	94.5
187	95	95.7	94.5
188	95	95.7	94.5
189	95	95.7	95.2
190	95	95.7	95.2
191	95	95.7	95.2
192	95	95.7	95.2
193	100	100.7	101.2
194	100	100.7	101.2
195	100	100.7	100.7
196	100	100.7	100.7
197	100	100.7	100.7
198	100	100.7	100.7
199	100	100.7	100.7
200	100	100.7	100.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ดังรูปที่ 4.14 และข้อมูลที่ทำการบันทึกได้ถูกถ่ายโอนมาแสดงที่โปรแกรม HyperTerminal แล้วบันทึกค่าที่คำนวณได้ลงในตารางที่ 4.2 โดยกำหนดให้ Δ คือค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์ และเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

Date	Time	temperature
04/05/06	11:25:00	-20.0 c
04/05/06	11:25:30	-23.0 c
04/05/06	11:26:00	-28.0 c
Average temp: -27.0 c		
04/05/06	11:30:00	-20.0 c
04/05/06	11:30:30	-20.0 c
04/05/06	11:31:14	-23.0 c
Average temp: -21.0 c		
04/05/06	11:35:30	-20.0 c
04/05/06	11:36:00	-29.0 c
04/05/06	11:36:34	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	11:40:00	-20.0 c
04/05/06	11:40:30	-20.0 c
04/05/06	11:41:00	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	11:45:01	-20.0 c
04/05/06	11:45:32	-20.0 c
04/05/06	11:46:00	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	11:50:00	-20.0 c
04/05/06	11:50:30	-20.0 c
04/05/06	11:51:00	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	11:55:00	-20.0 c
04/05/06	11:55:30	-20.0 c
04/05/06	11:56:00	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	12:00:00	-20.0 c
04/05/06	12:00:34	-20.0 c
04/05/06	12:01:00	-20.0 c
Average temp: -20.0 c		
04/05/06	12:05:00	-15.0 c
04/05/06	12:05:29	-15.0 c
04/05/06	12:06:00	-15.0 c
Average temp: -15.0 c		
04/05/06	12:10:09	-15.0 c
04/05/06	12:10:30	-15.0 c

รูปที่ 4.15 ค่าอุณหภูมิช่วง -20°C และ -15°C ที่บันทึกไว้แสดงบนโปรแกรม HyperTerminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลอง ครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จาก ทรายบล็อกกับ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่ อ่านได้จากทรายบล็อกกับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้ จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
1	1	1	0
2	1	1	0
3	1	0	1
4	1	0	1
5	1	0	1
6	1	0	1
7	1	0	1
8	1	0	1
9	1.2	0	1.2
10	1.2	0	1.2
11	1.2	1	0.2
12	1.2	2.1	0.9
13	1.2	1	0.2
14	1.2	1	0.2
15	1.2	1.5	0.3
16	1.2	2.1	0.9
17	0.4	0.8	0.4
18	0.4	0.8	0.4
19	0.4	0.1	0.5
20	0.4	1	0.6
21	0.4	2	1.6
22	0.4	0.1	0.5
23	0.4	1	0.6
24	0.4	2	1.6
25	0.8	0	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลอง ครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากด รายบล็อกกับ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่ อ่านได้จากรายบล็อกกับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้ จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร($^{\circ}\text{C}$)
26	0.8	1	0.2
27	0.8	1	0.2
28	0.8	2	1.2
29	0.8	0.2	1
30	0.8	0	0.8
31	0.8	3	2.2
32	0.8	2	1.2
33	0	0	0
34	0	0	0
35	0	0	0
36	0	0	0
37	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	0.2	0	0.2
42	0.2	1	0.8
43	0.2	1	0.8
44	0.2	0	0.2
45	0.2	1	0.8
46	0.2	1	0.8
47	0.2	1	0.8
48	0.2	0	0.2
49	0.1	2.7	2.6
50	0.1	0.8	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลองครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกกับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
51	0.1	0.8	0.7
52	0.1	0	0.1
53	0.1	0	0.1
54	0.1	0	0.1
55	0.1	0	0.1
56	0.1	0.8	0.7
57	0	2.5	2.5
58	0	2.5	2.5
59	0	2.5	2.5
60	0	1.7	1.7
61	0	0	0
62	0	0.8	0.8
63	0	0	0
64	0	0.8	0.8
65	0	0	0
66	0	0	0
67	0	0	0
68	0	0	0
69	0	0	0
70	0	0	0
71	0	0	0
72	0	0	0
73	0.1	0.8	0.9
74	0.1	0.8	0.9
75	0.1	1.7	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลองครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกรับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกรับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
76	0.1	0.8	0.9
77	0.1	0.7	0.8
78	0.1	1.7	1.8
79	0.1	0.8	0.9
80	0.1	1.7	1.8
81	0.1	2.5	2.6
82	0.1	2.5	2.6
83	0.1	2.5	2.6
84	0.1	2.5	2.6
85	0.1	2.5	2.6
86	0.1	2.5	2.6
87	0.1	2.5	2.6
88	0.1	2.5	2.6
89	0.1	2	2.1
90	0.1	2	2.1
91	0.1	2	2.1
92	0.1	2	2.1
93	0.1	2	2.1
94	0.1	2.2	2.3
95	0.1	2	2.1
96	0.1	2.2	2.3
97	0.1	3.1	3.2
98	0.1	3.1	3.2
99	0.1	2.7	2.8
100	0.1	2.7	2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การ ทดลอง ครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จาก ทรายบล็อกกับ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่ อ่านได้จากทรายบล็อกกับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้ จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับ เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
101	0.1	3.1	3.2
102	0.1	2.7	2.8
103	0.1	2.7	2.8
104	0.1	2.7	2.8
105	0.3	0.4	0.7
106	0.3	0.4	0.7
107	0.3	0.4	0.7
108	0.3	0.1	0.4
109	0.3	0.1	0.4
110	0.3	0.1	0.4
111	0.3	0.1	0.4
112	0.3	0.1	0.4
113	0.3	0.3	0
114	0.3	0.3	0
115	0.3	0.3	0
116	0.3	0.1	0.2
117	0.3	0.1	0.2
118	0.3	0.1	0.2
119	0.3	0.1	0.2
120	0.3	0.1	0.2
121	0.3	0.6	0.9
122	0.3	0.6	0.9
123	0.3	0.6	0.9
124	0.3	0.6	0.9
125	0.3	0.1	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลองครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดรายบล็อกกับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
126	0.3	0.1	0.4
127	0.3	0.1	0.4
128	0.3	0.1	0.4
129	0.3	1.2	0.9
130	0.3	1.2	0.9
131	0.3	1.2	0.9
132	0.3	1.2	0.9
133	0.3	1.2	0.9
134	0.3	1.2	0.9
135	0.3	1.2	0.9
136	0.3	1.2	0.9
137	0.3	0	0.3
138	0.3	0	0.3
139	0.3	0.5	0.2
140	0.3	0.5	0.2
141	0.3	0.5	0.2
142	0.3	0.5	0.2
143	0.3	0.5	0.2
144	0.3	0.5	0.2
145	0.5	0.7	0.2
146	0.5	0.7	0.2
147	0.5	0.7	0.2
148	0.5	0.7	0.2
149	0.5	1.0	0.5
150	0.5	1.0	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลองครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
151	0.5	1.0	0.5
152	0.5	1.0	0.5
153	0.5	0.5	0
154	0.5	0.5	0
155	0.5	0.5	0
156	0.5	0.6	0.1
157	0.5	0.6	0.1
158	0.5	0.6	0.1
159	0.5	0.6	0.1
160	0.5	0.6	0.1
161	0.5	0.6	0.1
162	0.5	0.6	0.1
163	0.5	0.6	0.1
164	0.5	1.1	0.6
165	0.5	1.1	0.6
166	0.5	1.1	0.6
167	0.5	1.1	0.6
168	0.5	1.1	0.6
169	0.5	1.3	0.8
170	0.5	1.3	0.8
171	0.5	1.3	0.8
172	0.5	1.3	0.8
173	0.5	1.3	0.8
174	0.5	1.1	0.6
175	0.5	1.1	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้

การทดลองครั้งที่	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนลือกกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนลือกกับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)	ค่า Δ ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ($^{\circ}\text{C}$)
176	0.5	1.1	0.6
177	0.5	0.3	0.8
178	0.5	0.3	0.8
179	0.5	0.3	0.8
180	0.5	0.3	0.8
181	0.5	0.1	0.4
182	0.5	0.1	0.4
183	0.5	0.1	0.4
184	0.5	0.1	0.4
185	0.7	0.5	1.2
186	0.7	0.5	1.2
187	0.7	0.5	1.2
188	0.7	0.5	1.2
189	0.7	0.2	0.5
190	0.7	0.2	0.5
191	0.7	0.2	0.5
192	0.7	0.2	0.5
193	0.7	1.2	0.5
194	0.7	1.2	0.5
195	0.7	0.7	0
196	0.7	0.7	0
197	0.7	0.7	0
198	0.7	0.7	0
199	0.7	0.7	0
200	0.7	0.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร และค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรในแต่ละย่านอุณหภูมิที่ทำการวัด โดยนำค่าจากตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาใช้ในการคำนวณ แล้วบันทึกค่าที่คำนวณได้ลงในตารางที่ 4.3

โดยกำหนดให้

\bar{X}_1 คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์

\bar{X}_2 คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากทรายนบล็อกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

\bar{X}_3 คือค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิที่อ่านได้จากดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเครื่องวัด 2 ชนิด

อุณหภูมิที่เซตทรายนบล็อก (°C)	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3
-20	1	0.25	0.75
-15	1.2	1.0875	0.6375
-10	0.4	0.9625	0.775
-5	0.8	1.15	0.975
0	0	0	0
5	0.2	0.625	0.575
10	0.1	0.6375	0.6375
15	0	1.35	1.35
20	0	0	0
25	0.1	1.125	1.225
30	0.1	2.5	2.6
35	0.1	2.05	2.15
40	0.1	2.85	2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเครื่องวัด 2 ชนิด

อุณหภูมิที่เซตทรายบล็อก (°C)	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3
45	0.3	0.2125	0.5125
50	0.3	0.175	0.125
55	0.3	0.35	0.65
60	0.3	1.2	0.9
65	0.3	0.375	0.225
70	0.5	0.85	0.35
75	0.5	0.5625	0.125
80	0.5	0.9125	0.4125
85	0.5	1.225	0.725
90	0.5	0.2	0.6
95	0.7	0.35	0.85
100	0.7	0.825	0.125

9. นำค่าจากตารางที่ 4.3 มาใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดโดยการเทียบ
 บัญญัติตรงยงค์ดังสมการที่ 4.1 แล้วบันทึกค่าที่คำนวณได้ลงในตารางที่ 4.4
 โดยกำหนดให้

$\% \bar{X}_1$ คือค่าความผิดพลาดของดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์เมื่อเทียบกับทรายบล็อก

$\% \bar{X}_2$ คือค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกเมื่อเทียบกับทรายบล็อก

$\% \bar{X}_3$ คือค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกเมื่อเทียบกับดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์

$$\text{ค่าความผิดพลาด } (\% \bar{X}_n) = (100 / \text{อุณหภูมิที่เซตทรายบล็อก}) * \bar{X}_n \quad (4.1)$$

เมื่อ \bar{X}_n คือ \bar{X}_1, \bar{X}_2 หรือ \bar{X}_3

$\% \bar{X}_n$ คือ $\% \bar{X}_1, \% \bar{X}_2$ หรือ $\% \bar{X}_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบต่างๆ

อุณหภูมิที่เซตตรงยบลิ็อก (°C)	% \bar{X}_1	% \bar{X}_2	% \bar{X}_3
-20	5	1.25	3.75
-15	8	7.25	4.25
-10	4	9.625	7.75
-5	16	1.15	0.975
0	0	0	0
5	4	12.5	11.5
10	1	6.375	6.375
15	0	9	9
20	0	0	0
25	0.4	4.5	4.9
30	0.33	8.33	8.66
35	0.27	5.86	6.14
40	0.25	7.125	7.375
45	0.67	0.47	1.14
50	0.6	0.35	0.25
55	0.55	0.64	1.18
60	0.5	2	1.5
65	0.46	0.58	0.35
70	0.7	1.2	0.5
75	0.67	0.75	0.17
80	0.625	1.14	0.52
85	0.6	1.44	0.85
90	0.56	0.22	0.67
95	0.74	0.4	0.9
100	0.7	0.825	0.125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 สรุปผลการทดลอง

การทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดของดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์เมื่อเทียบกับตราบบล็อกในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2% ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ลดลงถึง -20 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาดเกิน 2 %
2. ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเมื่อเทียบกับตราบบล็อกในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2 % ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาดเกิน 2 %

4.5 การทดลองค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

การทดลองค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรจะทำการเปรียบเทียบความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์ โดยเซตอุณหภูมิของตราบบล็อกที่ช่วงต่างๆ จากนั้นรอให้ตราบบล็อกเซตอุณหภูมิให้ตรงกับค่าอุณหภูมิที่เราตั้งไว้ ดังเช่นรูปที่ 4.16 สังเกตที่หน้าจอทางด้านขวา ค่าอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสด้านล่างเป็นค่าที่ได้ตั้งไว้ ส่วนค่าอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสด้านบนเป็นค่าที่ตราบบล็อกเซตค่าอุณหภูมิของตัวเองให้ตรงกับค่าที่เราตั้งไว้



รูปที่ 4.16 การเซตอุณหภูมิของตราบบล็อกที่ -25 °C

เมื่อตราบบล็อกเซตอุณหภูมิได้ตรงกับค่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้แล้ว จึงเริ่มจับเวลาของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเทียบกับตราบบล็อก และดิจิตอลเทอร์มิโมมิเตอร์เทียบกับตราบบล็อก เครื่องวัดอุณหภูมิเครื่องที่

ใช้เวลาในการวัดให้ตรงกับตราบบล็อกได้น้อยกว่า จะมีความไวในการวัดมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อหาค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

4.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ดรายบล็อก ยี่ห้อ ISOTECH รุ่น ISOCAL -6 VENUS 2140S ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีย่านการใช้งาน -55 ถึง 140 องศาเซลเซียส
2. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ MOTHER TOOL รุ่น MT-806 มีย่านการใช้งาน -50 ถึง 280 องศาเซลเซียส
3. นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ CASIO รุ่น HS-1000
4. เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

4.5.3 วิธีการทดลอง

1. ปรับตั้งค่าอุณหภูมิของดรายบล็อกไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส รอให้ดรายบล็อกเสถียรค่าอุณหภูมิให้ตรงกับอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้
2. นำดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และโพรบของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร เสียบลงในช่องทดลองของดรายบล็อก
3. เมื่อดรายบล็อกเสถียรได้ตรงกับค่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ สังเกตที่หน้าจอของดรายบล็อกคืออุณหภูมิด้านบนและด้านล่างตรงกัน ให้เริ่มจับเวลาของเครื่องวัดทั้ง 2 เครื่องและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.5
4. ปรับค่าอุณหภูมิของดรายบล็อกให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศาเซลเซียส เป็น -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 และ 100 ทำการทดลองซ้ำจนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บันทึกผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดลงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบต่างๆ

อุณหภูมิที่เซตตรงยบลิ็อก (°C)	ความไวในการวัดของดิจิตอล เทอร์โมมิเตอร์ (นาท)	ความไวในการวัดของเครื่องวัด อุณหภูมิเนื้อสุกร (นาท)
-20	3.35	3.56
-15	3.26	3.43
-10	2.20	2.46
-5	2.17	3.12
0	2.25	3.41
5	2.24	2.45
10	1.19	2.30
15	1.44	2.54
20	1.59	2.22
25	3.01	2.46
50	2.06	2.38
55	2.28	3.20
60	1.59	2.53
65	4.00	3.25
70	3.35	2.45
75	3.10	2.12
80	4.06	2.53
85	1.15	1.44
90	2.29	1.52
95	3.00	2.35
100	3.38	1.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 สรุปผลการทดลอง

การทดลองค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าความไวของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ในช่วงอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ถึง 25 องศาเซลเซียส มีความไวมากกว่าเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร
2. ค่าความไวของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส มีความไวมากกว่าดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนรับสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล ส่วนของการประมวลผล และส่วนการแสดงผล ในส่วนของการรับสัญญาณนั้นจะประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล ไอซีปรับสภาพสัญญาณ AD595 โดยนำสัญญาณเอาต์พุตของวงจรปรับสภาพสัญญาณไปต่อเข้ากับขา RA0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนของการประมวลผลนั้นประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ไอซีฐานเวลาจริง DS1307 และ EEPROM 24LC64 ซึ่งรับส่งข้อมูลผ่านบัส I²C ในส่วนของการแสดงผลนั้น แสดงผลผ่านจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดและสามารถส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมด้วย MAX232

เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรทำงานโดยการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แต่ก่อนที่จะนำสัญญาณเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จะต้องนำสัญญาณผ่านวงจรปรับสภาพสัญญาณก่อน เพื่อให้การวัดมีความเที่ยงตรง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เซนเซอร์ที่เลือกใช้ให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น และมีค่าที่น้อยประมาณ มิลลิโวลต์ ทำให้ไม่สามารถต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง และผลการวัดมีความคลาดเคลื่อน

วิธีการแก้ไข ใช้ไอซีปรับสภาพสัญญาณเบอร์ AD595 ซึ่งใช้สำหรับเทอร์โมคัปเปิลโดยเฉพาะ ไอซี AD595 จะช่วยชดเชยค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นเชิงเส้นมากขึ้น และขยายสัญญาณขึ้นไปที่ 10mV / 1°C ก่อนที่จะต่อเข้ากับไมโครแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. อุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบ หรือตรายบล็อกรซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับสร้างอุณหภูมิคงที่ เพื่อที่จะสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงมาก และที่ภาควิชาไม่มีสำหรับทดสอบ

วิธีการแก้ไข นำเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรไปสอบเทียบกับตรายบล็อกของบริษัท ซึ่งสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ ทำให้การทดลองมีความน่าเชื่อถือได้มากขึ้น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขนาดของตัวเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรยังคงมีขนาดใหญ่อยู่ เนื่องจากแผ่นวงจรพิมพ์มีขนาดใหญ่ ทำให้พกพาไม่สะดวกเท่าที่ควร

วิธีการแก้ไข ใช้กล่องที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถใช้กับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบไว้ได้

4. การถ่ายโอนข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ยังขาดโปรแกรมที่สมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลได้อย่างมีระเบียบ เพื่อที่จะใช้ข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด

วิธีการแก้ไข ใช้โปรแกรม HyperTerminal สำหรับรับข้อมูลที่ถ่ายโอนมาจากเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรและเขียนโปรแกรมเพื่อจัดเรียงข้อมูลให้เป็นระเบียบ

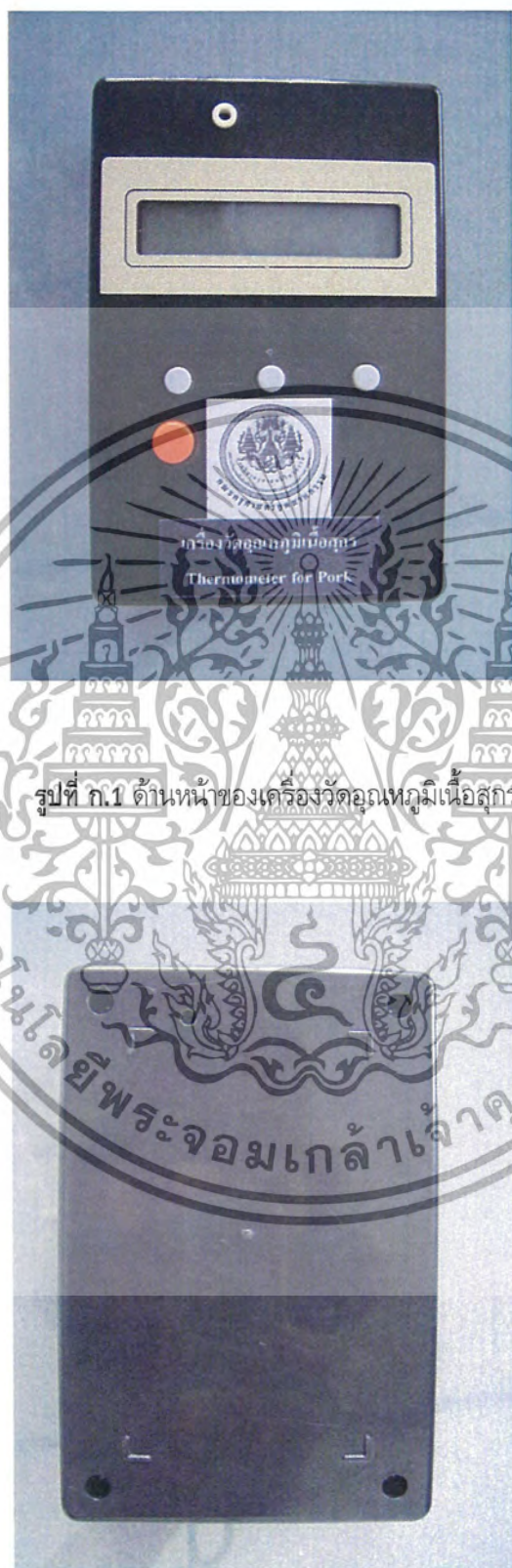
5.3 แนวทางการพัฒนา

1. สำหรับผู้ที่จะนำโครงการไปพัฒนาน่าจะทดลองใช้ RTD เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพราะ RTD ให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถนำสัญญาณเอาต์พุตไปใช้งานได้ง่ายกว่า
2. ในการออกแบบขนาดของเครื่องวัด ควรออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีขนาดเล็กไว้ก่อน เพื่อที่จะสร้างตัวเครื่องให้มีขนาดเล็กลงตามไปด้วย
3. การถ่ายโอนข้อมูลควรสร้างโปรแกรมฐานข้อมูลมารับข้อมูล เพื่อที่จะได้นำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด



ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

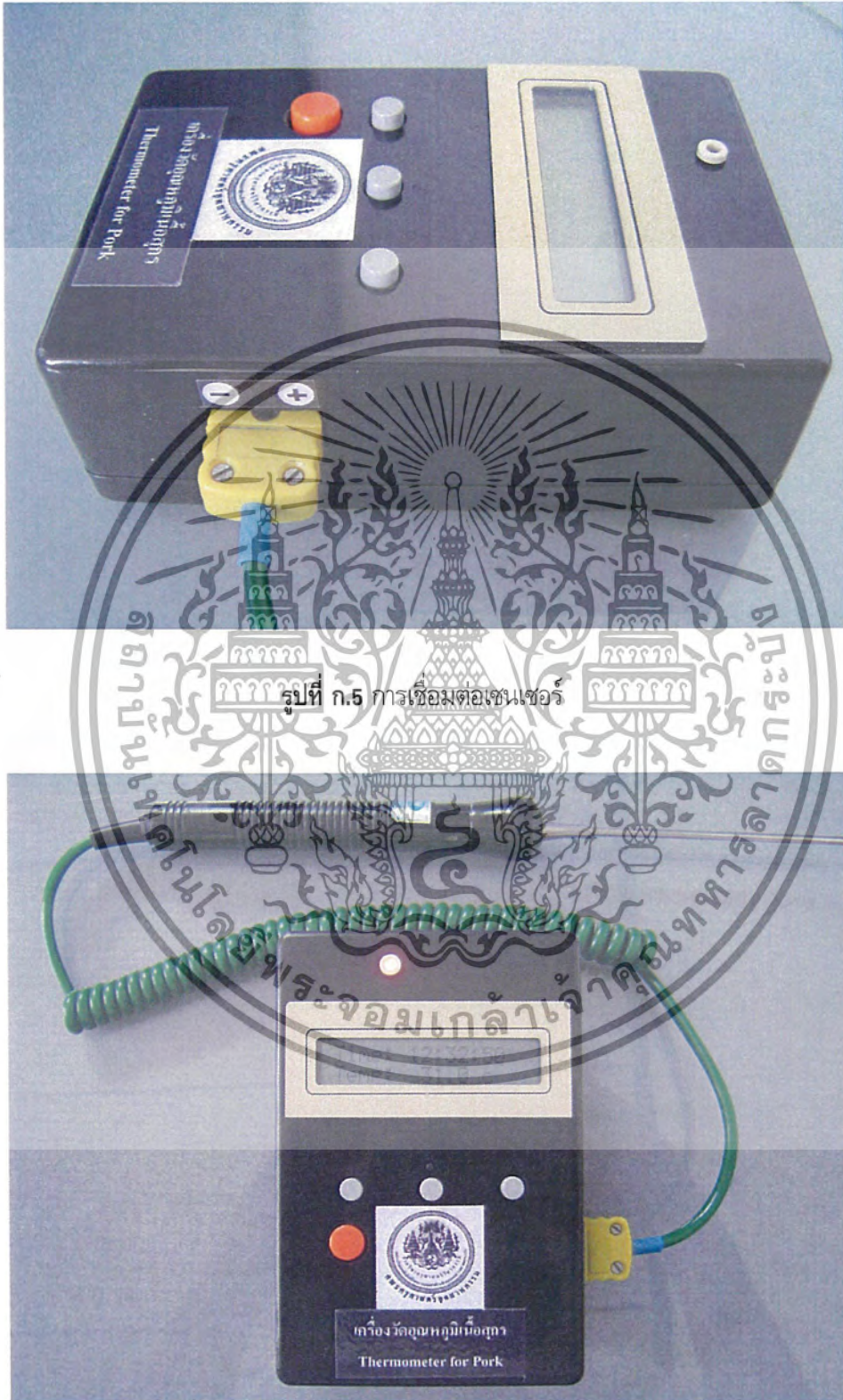
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2 ด้านหลังของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

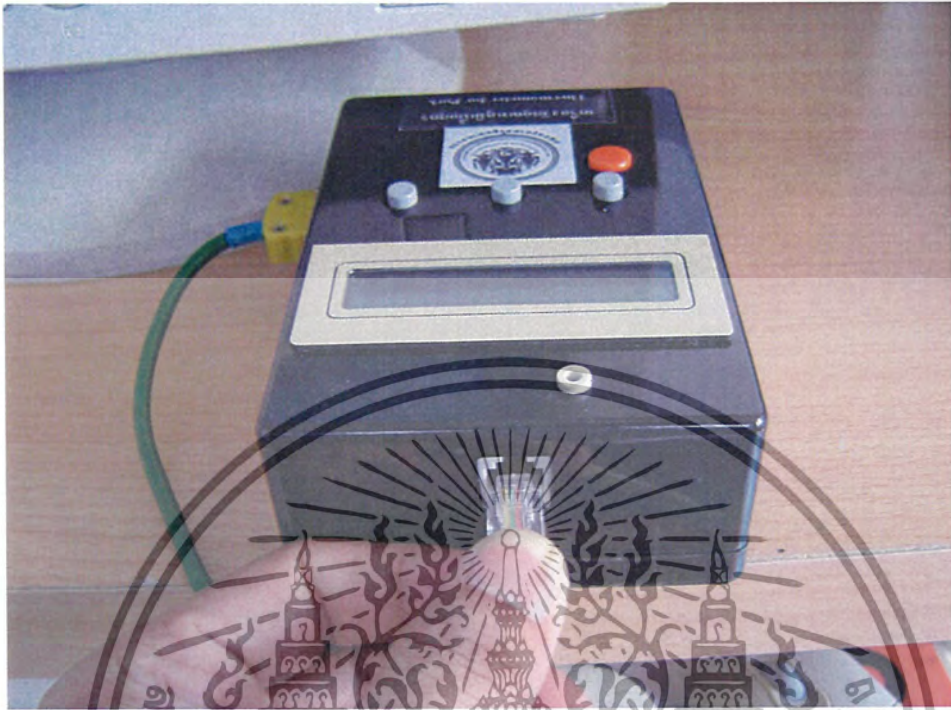


รูปที่ ก.3 ด้านบนของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรพร้อมใช้งาน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 การเชื่อมต่อเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม (RS232)

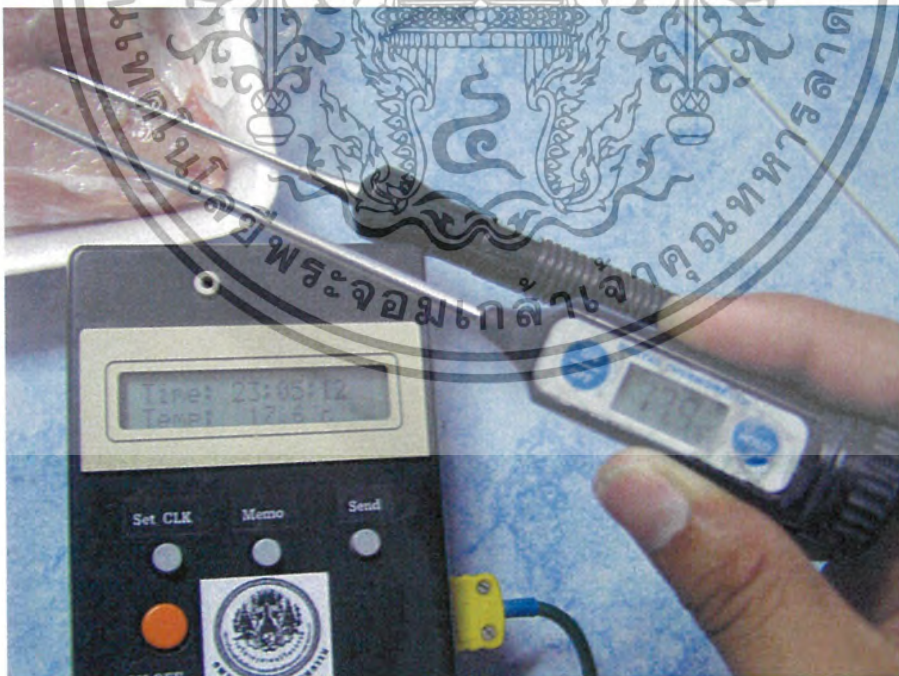


รูปที่ ก.8 การสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับตารางบล็อกและดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควบคุมอุณหภูมิสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 การสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ $\pm 25^{\circ}\text{C}$



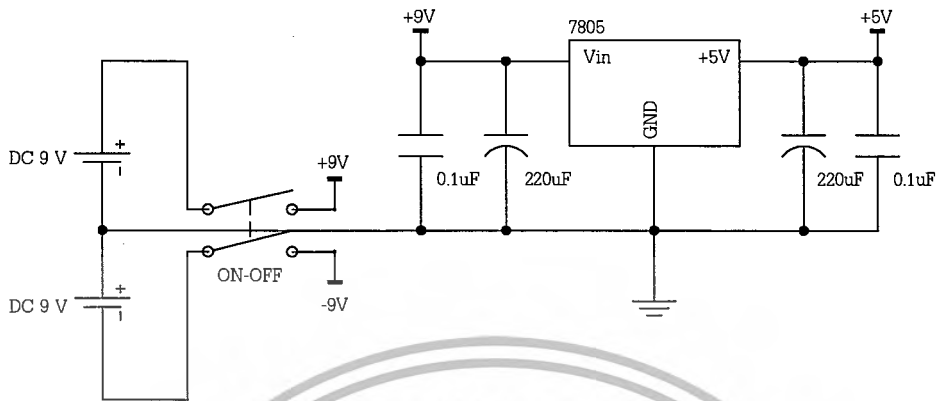
รูปที่ ก.10 การวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

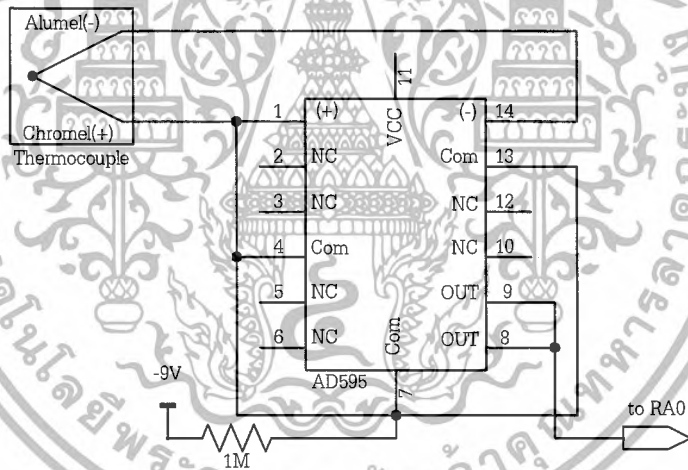


ภาคผนวก ข
วงจรและแผนวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

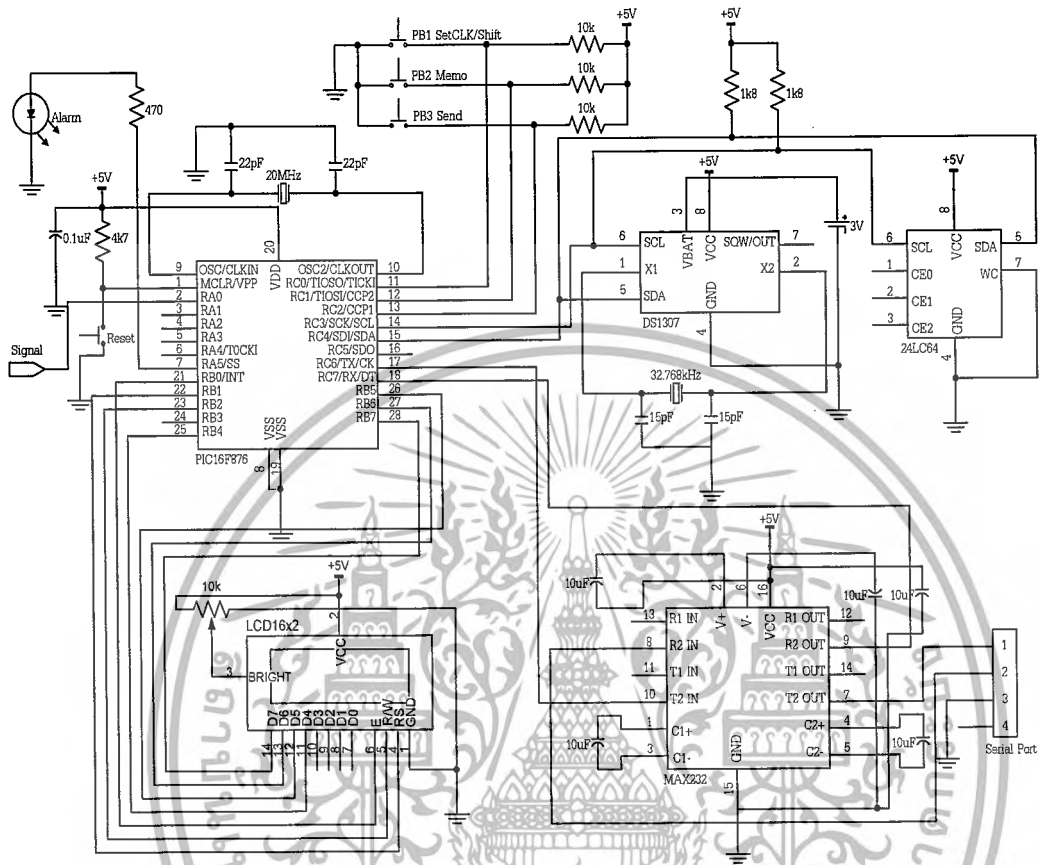


รูปที่ ข.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า +9V และ+5V



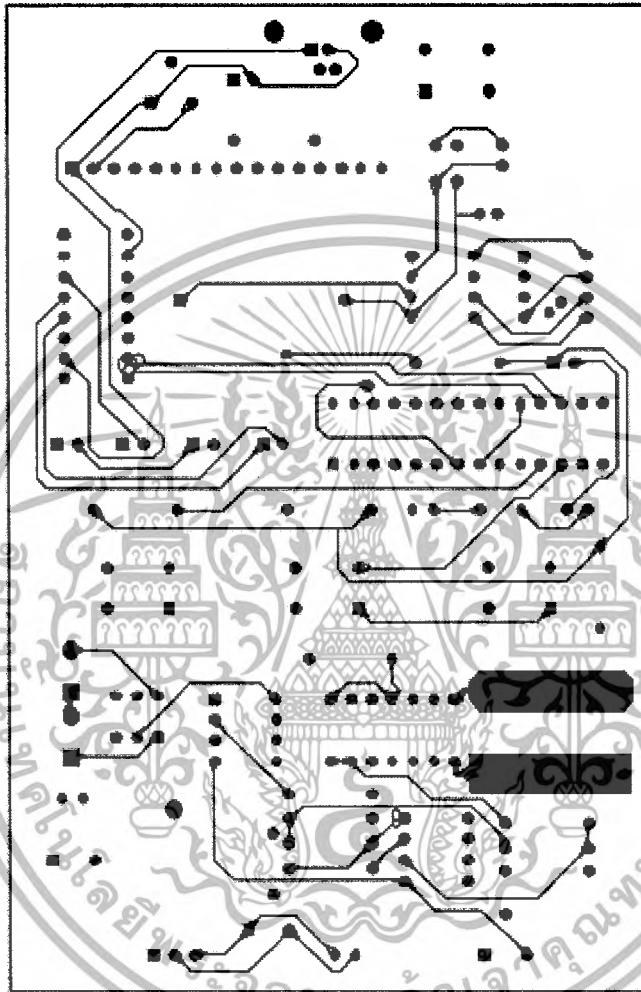
รูปที่ ข.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



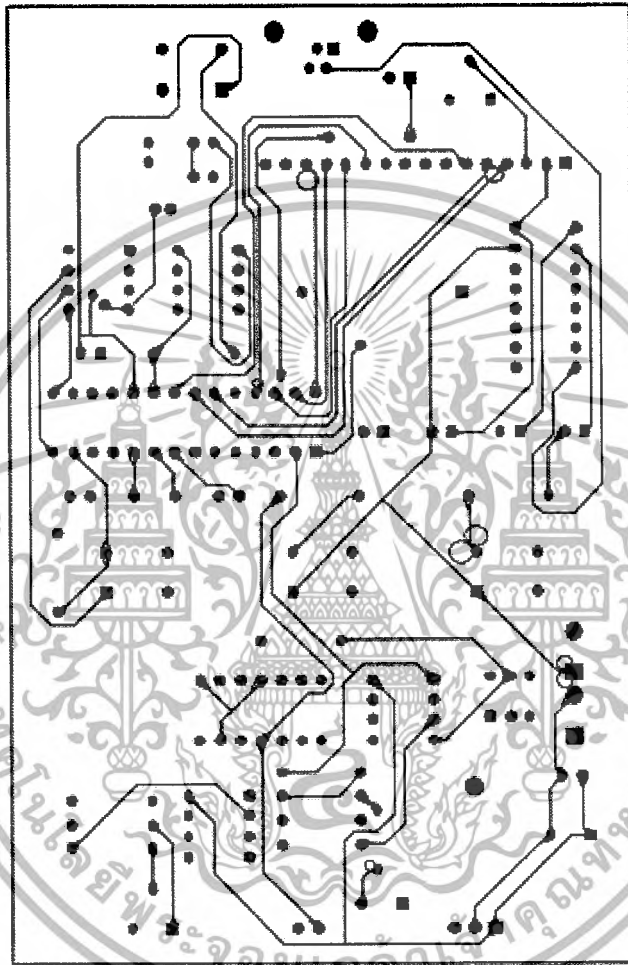
รูปที่ ๓.๖ วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



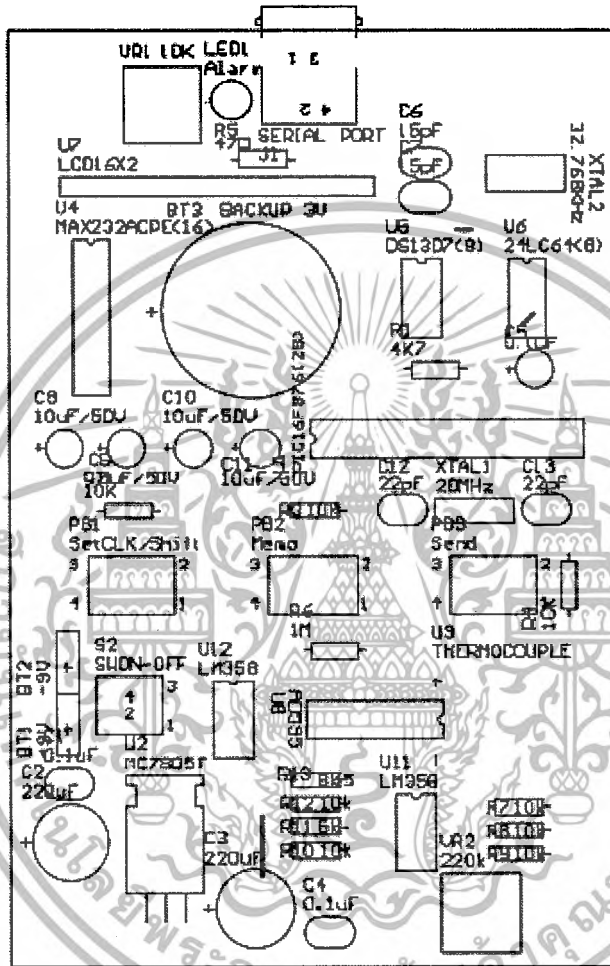
รูปที่ ข.4 ลายวงจรพิมพ์ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ลายวงจรพิมพ์ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 การวางอุปกรณ์ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.7 การวางอุปกรณ์ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC2	7805	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ C1, C4	0.1 μ F	2 ตัว
C2, C3	220 μ F/25 V	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ BT1, BT2	แบตเตอรี่ 9 V	2 ก้อน
S W O N - O F F	สวิตช์กดติด กดดับ	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรปรับสภาพสัญญาณ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC8	AD595	1 ตัว
IC2	LM358	2 ตัว
ตัวความต้านทาน R7, R8, R9, R10, R12	10 $k\Omega$ 1/4 W 5%	4 ตัว
R6	1 $M\Omega$ 1/4 W 5%	1 ตัว
R11	5 $k\Omega$ 1/4 W 5%	1 ตัว
R13	8.5 $k\Omega$ 1/4 W 5%	1 ตัว
VR2	220 $k\Omega$	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ THERMOCOUPLE	เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	PIC16F876	1 ตัว
IC4	MAX232	1 ตัว
IC5	DS1307	1 ตัว
IC6	24LC64	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
LED1	Light Emitting Diode สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C5	0.1 uF/25 V	1 ตัว
C6, C7	15 pF	2 ตัว
C8 - C11	10 uF/25 V	4 ตัว
C12, C13	22 pF	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	4.7 k Ω 1/4 W 5%	1 ตัว
R2 - R4	10 k Ω 1/4 W 5%	3 ตัว
R5	470 Ω 1/4 W 5%	1 ตัว
R14, R15	1.8 k Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
VR1	10 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1 SERIAL PORT	ISP JACK 4 PIN	1 ตัว
LCD16x2	จอแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	4 ตัว
S1 RESET, PB1, PB2, PB3	สวิตช์กดติด ปลั๊กยัด	
XTAL1	คริสตอล 20 MHz	1 ตัว
XTAL2	คริสตอล 32.768 KHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



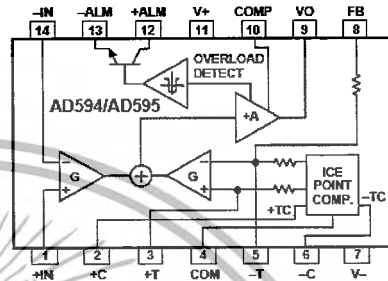
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594/AD595

FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or
 Type K (AD595) Thermocouples
 Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
 Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
 Built-In Ice Point Compensation
 Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
 Low Power: <1 mW typical
 Thermocouple Failure Alarm
 Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
 Setpoint Mode Operation
 Self-Contained Celsius Thermometer Operation
 High Impedance Differential Input
 Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 μA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5\text{ V}$, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A		AD594C		AD595A		AD595C		Units
	Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	
ABSOLUTE MAXIMUM RATING									
$+V_S$ to $-V_S$		36		36		36		36	Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$	$+V_S$	$-V_S - 0.15$	$+V_S$	$-V_S - 0.15$	$+V_S$	$-V_S - 0.15$	$+V_S$	Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	Volts
Alarm Voltages									
+ALM	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S + 36$	$-V_S$	$-V_S + 36$	Volts
-ALM	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	$-V_S$	$+V_S$	Volts
Operating Temperature Range	-55	+125	-55	+125	-55	+125	-55	+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite		Indefinite		Indefinite		Indefinite		
TEMPERATURE MEASUREMENT (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)									
Calibration Error at +25°C ¹		±3		±1		±3		±1	°C
Stability vs. Temperature ²		±0.05		±0.025		±0.05		±0.025	°C/°C
Gain Error		±1.5		±0.75		±1.5		±0.75	%
Nominal Transfer Function		10		10		10		10	mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS									
Closed Loop Gain ³	193.4		193.4		247.3		247.3		
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		μV
Input Bias Current	0.1		0.1		0.1		0.1		μA
Differential Input Range	-10	+50	-10	+50	-10	+50	-10	+50	mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$	$-V_S - 4$	Volts
Common-Mode Sensitivity - RTO	10		10		10		10		mV/V
Power Supply Sensitivity - RTO	10		10		10		10		mV/V
Output Voltage Range									Volts
Dual Supply	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$	$+V_S - 2$	Volts
Single Supply	0	$+V_S - 2$	0	$+V_S - 2$	0	$+V_S - 2$	0	$+V_S - 2$	Volts
Usable Output Current ⁴	±5		±5		±5		±5		mA
3 dB Bandwidth	15		15		15		15		kHz
ALARM CHARACTERISTICS									
V_{CRSAT} at 2 mA	0.3		0.3		0.3		0.3		Volts
Leakage Current	±1		±1		±1		±1		μA
Operating Voltage at -ALM	$+V_S - 4$		$+V_S - 4$		$+V_S - 4$		$+V_S - 4$		Volts
Short Circuit Current	20		20		20		20		mA
POWER REQUIREMENTS									
Specified Performance	$+V_S = 5, -V_S = 0$		$+V_S = 5, -V_S = 0$		$+V_S = 5, -V_S = 0$		$+V_S = 5, -V_S = 0$		Volts
Operating ⁵	$+V_S$ to $-V_S \leq 30$		$+V_S$ to $-V_S \leq 30$		$+V_S$ to $-V_S \leq 30$		$+V_S$ to $-V_S \leq 30$		Volts
Quiescent Current (No Load)									μA
$+V_S$	160	300	160	300	160	300	160	300	μA
$-V_S$	100		100		100		100		μA
PACKAGE OPTION									
TO-116 (D-14)	AD594AD		AD594CD		AD595AD		AD595CD		
Cerdip (Q-14)	AD594AQ		AD594CQ		AD595AQ		AD595CQ		

NOTES

- ¹Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.
- ²Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.
- ³Pin 8 shorted to Pin 9.
- ⁴Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 30 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.
- ⁵ $-V_S$ must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate ongoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN FE-CuNi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD594/AD595

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, $V_s = -5\text{ V}, +15\text{ V}$)

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV	Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454	500	27.388	5300	20.640	5107
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370	520	28.511	5517	21.493	5318
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269	540	29.642	5736	22.346	5529
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152	560	30.782	5956	23.198	5740
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021	580	31.933	6179	24.050	5950
-100	-4.632	-893	-3.553	-876	600	33.096	6404	24.902	6161
-80	-3.785	-729	-2.920	-719	620	34.273	6632	25.751	6371
-60	-2.892	-556	-2.243	-552	640	35.464	6862	26.599	6581
-40	-1.960	-376	-1.527	-375	660	36.671	7095	27.445	6790
-20	-0.995	-189	-0.777	-189	680	37.893	7332	28.288	6998
-10	-0.501	-94	-0.392	-94	700	39.130	7571	29.128	7206
0	0	3.1	0	2.7	720	40.382	7813	29.965	7413
10	0.507	101	0.397	101	740	41.647	8058	30.799	7619
20	1.019	200	0.798	200	750	42.283	8181	31.214	7722
25	1.277	250	1.000	250	760	-	-	31.629	7825
30	1.536	300	1.203	300	780	-	-	32.455	8029
40	2.058	401	1.611	401	800	-	-	33.277	8232
50	2.585	503	2.022	503	820	-	-	34.095	8434
60	3.115	606	2.436	605	840	-	-	34.909	8636
80	4.186	813	3.266	810	860	-	-	35.718	8836
100	5.268	1022	4.095	1015	880	-	-	36.524	9035
120	6.359	1233	4.919	1219	900	-	-	37.325	9233
140	7.457	1445	5.733	1420	920	-	-	38.122	9430
160	8.560	1659	6.539	1620	940	-	-	38.915	9626
180	9.667	1873	7.338	1817	960	-	-	39.703	9821
200	10.777	2087	8.137	2015	980	-	-	40.488	10015
220	11.887	2302	8.938	2213	1000	-	-	41.269	10209
240	12.998	2517	9.745	2413	1020	-	-	42.045	10400
260	14.108	2732	10.560	2614	1040	-	-	42.817	10591
280	15.217	2946	11.381	2817	1060	-	-	43.585	10781
300	16.325	3160	12.207	3022	1080	-	-	44.339	10970
320	17.432	3374	13.039	3227	1100	-	-	45.108	11158
340	18.537	3588	13.874	3434	1120	-	-	45.863	11345
360	19.640	3801	14.712	3641	1140	-	-	46.612	11530
380	20.743	4015	15.552	3849	1160	-	-	47.356	11714
400	21.846	4228	16.395	4057	1180	-	-	48.095	11897
420	22.949	4441	17.241	4266	1200	-	-	48.828	12078
440	24.054	4655	18.088	4476	1220	-	-	49.555	12258
460	25.161	4869	18.939	4686	1240	-	-	50.276	12436
480	26.272	5084	19.788	4896	1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

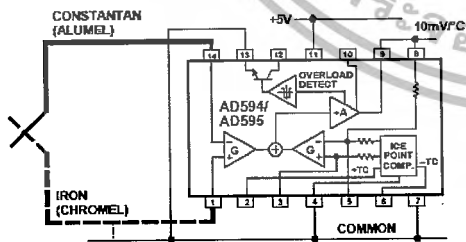


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

AD594/AD595

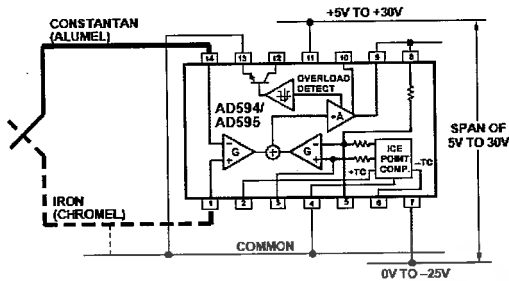


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in Figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in this connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

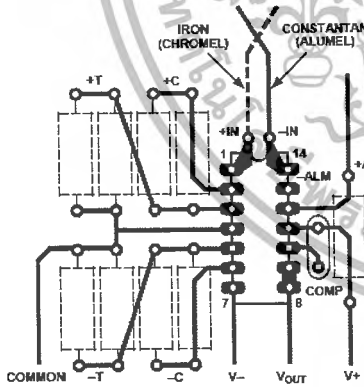


Figure 3. PCB Connections

Here the AD594/AD595 package temperature and circuit board are thermally contacted in the copper printed circuit board tracks under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection and copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which are at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

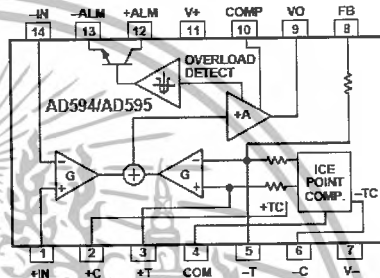


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD594/AD595

The AD594/AD595 also includes an input open circuit detector that switches on an alarm transistor. This transistor is actually a current-limited output buffer, but can be used up to the limit as a switch transistor for either pull-up or pull-down operation of external alarms.

The ice point compensation network has voltages available with positive and negative temperature coefficients. These voltages may be used with external resistors to modify the ice point compensation and recalibrate the AD594/AD595 as described in the next column.

The feedback resistor is separately pinned out so that its value can be padded with a series resistor, or replaced with an external resistor between Pins 5 and 9. External availability of the feedback resistor allows gain to be adjusted, and also permits the AD594/AD595 to operate in a switching mode for setpoint operation.

CAUTIONS:

The temperature compensation terminals (+C and -C) at Pins 2 and 6 are provided to supply small calibration currents only. The AD594/AD595 may be permanently damaged if they are grounded or connected to a low impedance.

The AD594/AD595 is internally frequency compensated for feedback ratios (corresponding to normal signal gain) of 75 or more. If a lower gain is desired, additional frequency compensation should be added in the form of a 300 pF capacitor from Pin 10 to the output at Pin 9. As shown in Figure 5 an additional 0.01 μ F capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

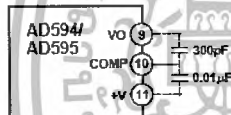


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

The ice point compensation network of the AD594/AD595 produces a differential signal which is zero at 0°C and corresponds to the output of an ice referenced thermocouple at the temperature of the chip. The positive TC output of the circuit is proportional to Kelvin temperature and appears as a voltage at +T. It is possible to decrease this signal by loading it with a resistor from +T to COM, or increase it with a pull-up resistor from +T to the larger positive TC voltage at +C. Note that adjustments to +T should be made by measuring the voltage which tracks it at -T. To avoid destabilizing the feedback amplifier the measuring instrument should be isolated by a few thousand ohms in series with the lead connected to -T.

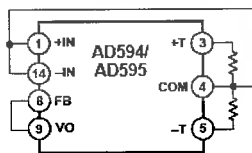


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C. The zero can be restored by adjusting the current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into

this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

If the compensation is adjusted substantially to accommodate a different thermocouple type, its effect on the final output voltage will increase or decrease in proportion. To restore the nominal output to 10 mV/°C the gain may be adjusted to match the new compensation and thermocouple input characteristics. When reducing the compensation the resistance between -T and COM automatically increases the gain to within 0.5% of the correct value. If a smaller gain is required, however, the nominal 47 k Ω internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply.

EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595

Both the AD594 and AD595 can be configured to condition the output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

While maintaining the device at a constant temperature follow the recalibration steps given here. First, measure the device temperature by tying both inputs to common (or a selected common-mode potential) and connecting FB to VO. The AD594 is now in the stand alone Celsius thermometer mode. For this example assume the ambient is 24°C and the initial output VO is 240 mV. Check the output at VO to verify that it corresponds to the temperature of the device.

Next, measure the voltage -T at Pin 5 with a high impedance DVM (capacitance should be isolated by a few thousand ohms of resistance at the measured terminals). At 24°C the -T voltage will be about 8.3 mV. To adjust the compensation of an AD594 to a type E thermocouple a resistor, R1, should be connected between +T and +C, Pins 2 and 3, to raise the voltage at -T by the ratio of thermocouple sensitivities. The ratio for converting a type J device to a type E characteristic is:

$$r(AD594) = (60.9 \mu V/^\circ C) / (51.7 \mu V/^\circ C) = 1.18$$

Thus, multiply the initial voltage measured at -T by r and experimentally determine the R1 value required to raise -T to that level. For the example the new -T voltage should be about 9.8 mV. The resistance value should be approximately 1.8 k Ω .

The zero differential point must now be shifted back to 0°C. This is accomplished by multiplying the original output voltage VO by r and adjusting the measured output voltage to this value by experimentally adding a resistor, R2, between -C and -T, Pins 5 and 6. The target output value in this case should be about 283 mV. The resistance value of R2 should be approximately 240 k Ω .

Finally, the gain must be recalibrated such that the output VO indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and -T, Pins 8 and 5. VO should now be back to the initial 240 mV reading. The resistance value

AD594/AD595

of R3 should be approximately 280 kΩ. The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

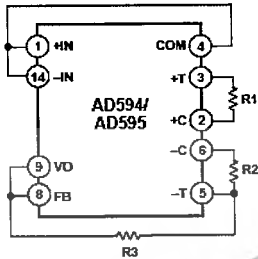


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650 Ω, 84 kΩ, 93 kΩ and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

Note that during this procedure it is crucial to maintain the AD594/AD595 at a stable temperature because it is used as the temperature reference. Contact with fingers or any tools not at ambient temperature will quickly produce errors. Radiational heating from a change in lighting or approach of a soldering iron must also be guarded against.

USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

Because of the similarity of thermal EMFs in the 0°C to +50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200°C to +350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 2 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10 mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0°C to +50°C ambient will remain accurate.

STABILITY OVER TEMPERATURE

Each AD594/AD595 is tested for error over temperature with the measuring thermocouple at 0°C. The combined effects of cold junction compensation error, amplifier offset drift and gain error determine the stability of the AD594/AD595 output over the rated ambient temperature range. Figure 8 shows an AD594/AD595 drift error envelope. The slope of this figure has units of °C/°C.

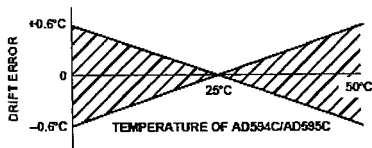


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The inherent low power dissipation of the AD594/AD595 and the low thermal resistance of the package make self-heating errors almost negligible. For example, in still air the chip to ambient thermal resistance is about 80°C/watt (for the D package). At the nominal dissipation of 800 μW the self-heating in free air is less than 0.065°C. Submerged in fluorinert liquid (unstirred) the thermal resistance is about 40°C/watt, resulting in a self-heating error of about 0.032°C.

SETPOINT CONTROLLER

The AD594/AD595 can readily be connected as a setpoint controller as shown in Figure 9.

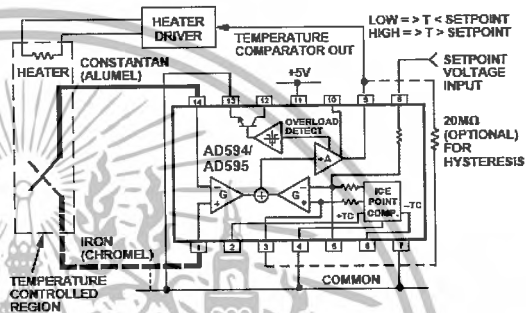


Figure 9. Setpoint Controller

The thermocouple is used to sense the unknown temperature and provide a thermal EMF to the input of the AD594/AD595. The signal is cold junction compensated, amplified to 10 mV/°C and compared to an external setpoint voltage applied by the user to the feedback at Pin 8. Table I lists the correspondence between setpoint voltage and temperature, accounting for the nonlinearity of the measurement thermocouple. If the setpoint temperature range is within the operating range (-55°C to +125°C) of the AD594/AD595, the chip can be used as the transducer for the circuit by shorting the inputs together and utilizing the nominal calibration of 10 mV/°C. This is the centigrade thermometer configuration as shown in Figure 13.

In operation if the setpoint voltage is above the voltage corresponding to the temperature being measured the output swings low to approximately zero volts. Conversely, when the temperature rises above the setpoint voltage the output switches to the positive limit of about 4 volts with a +5 V supply. Figure 9 shows the setpoint comparator configuration complete with a heater element driver circuit being controlled by the AD594/AD595 toggled output. Hysteresis can be introduced by injecting a current into the positive input of the feedback amplifier when the output is toggled high. With an AD594 about 200 nA into the +T terminal provides 1°C of hysteresis. When using a single 5 V supply with an AD594, a 20 MΩ resistor from V_O to +T will supply the 200 nA of current when the output is forced high (about 4 V). To widen the hysteresis band decrease the resistance connected from V_O to +T.

AD594/AD595

ALARM CIRCUIT

In all applications of the AD594/AD595 the -ALM connection, Pin 13, should be constrained so that it is not more positive than $(V+) - 4\text{ V}$. This can be most easily achieved by connecting Pin 13 to either common at Pin 4 or $V-$ at Pin 7. For most applications that use the alarm signal, Pin 13 will be grounded and the signal will be taken from +ALM on Pin 12. A typical application is shown in Figure 10.

In this configuration the alarm transistor will be off in normal operation and the 20 k pull up will cause the +ALM output on Pin 12 to go high. If one or both of the thermocouple leads are interrupted, the +ALM pin will be driven low. As shown in Figure 10 this signal is compatible with the input of a TTL gate which can be used as a buffer and/or inverter.

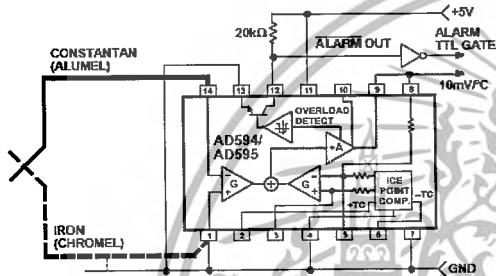


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Since the alarm is a high level output it may be used to directly drive an LED or other indicator as shown in Figure 11.

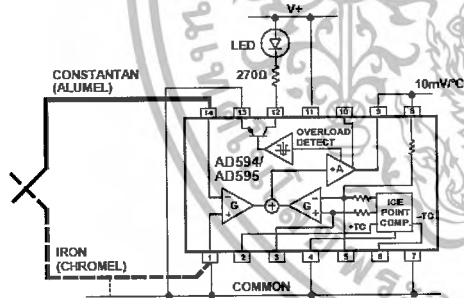


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A 270 Ω series resistor will limit current in the LED to 10 mA, but may be omitted since the alarm output transistor is current limited at about 20 mA. The transistor, however, will operate in a high dissipation mode and the temperature of the circuit will rise well above ambient. Note that the cold junction compensation will be affected whenever the alarm circuit is activated. The time required for the chip to return to ambient temperature will depend on the power dissipation of the alarm circuit, the nature of the thermal path to the environment and the alarm duration.

The alarm can be used with both single and dual supplies. It can be operated above or below ground. The collector and emitter of the output transistor can be used in any normal switch configuration. As an example a negative referenced load can be driven from -ALM as shown in Figure 12.

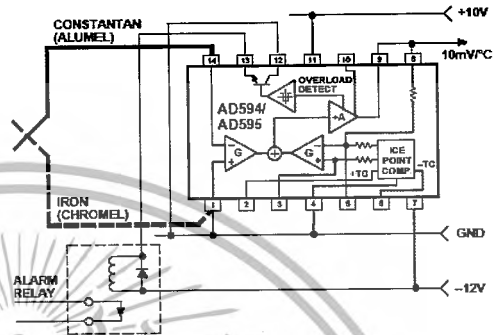


Figure 12. -ALM Driving A Negative Referenced Load

The collector (+ALM) should not be allowed to become more positive than $(V-) + 36\text{ V}$, however, it may be permitted to be more positive than $V+$. The emitter voltage (-ALM) should be constrained so that it does not become more positive than 4 volts below the $V+$ applied to the circuit.

Additionally, the AD594/AD595 can be configured to produce an extreme upscale or downscale output in applications where an extra signal line for an alarm is inappropriate. By tying either of the thermocouple inputs to common most runaway control conditions can be automatically avoided. A +IN to common connection creates a downscale output if the thermocouple opens, while connecting -IN to common provides an upscale output.

CELSIUS THERMOMETER

The AD594/AD595 may be configured as a stand-alone Celsius thermometer as shown in Figure 13.

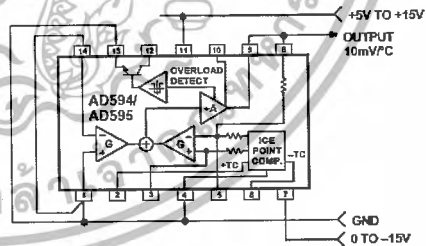


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

Simply omit the thermocouple and connect the inputs (Pins 1 and 14) to common. The output now will reflect the compensation voltage and hence will indicate the AD594/AD595 temperature with a scale factor of 10 mV/°C. In this three terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military -55°C to +125°C temperature range.

AD594/AD595

THERMOCOUPLE BASICS

Thermocouples are economical and rugged; they have reasonably good long-term stability. Because of their small size, they respond quickly and are good choices where fast response is important. They function over temperature ranges from cryogenics to jet-engine exhaust and have reasonable linearity and accuracy.

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal and contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures, T1 and T2, in a repeatable way.

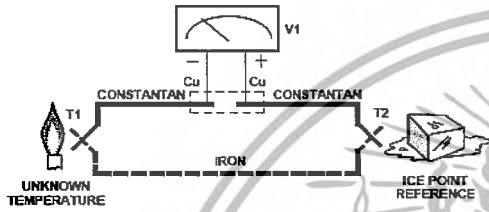


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

Since the thermocouple is basically a differential rather than absolute measuring device, a known reference temperature is required for one of the junctions if the temperature of the other is to be inferred from the output voltage. Thermocouples made of specially selected materials have been exhaustively characterized in terms of voltage versus temperature compared to primary temperature standards. Most notably the water-ice point of 0°C is used for tables of standard thermocouple performance.

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient thermoelectric method to measure the reference temperature

and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

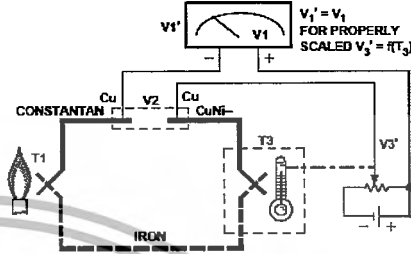


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

The temperature sensitivity of silicon integrated circuit transistors is quite predictable and repeatable. This sensitivity is exploited in the AD594/AD595 to produce a temperature related voltage to compensate the reference of "cold" junction of a thermocouple as shown in Figure 16.

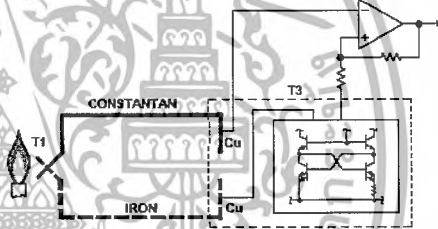


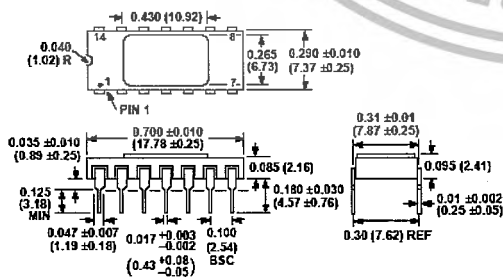
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

Since the compensation is at the reference junction temperature, it is often convenient to form the reference "junction" by connecting directly to the circuit wiring. So long as these connections and the compensation are at the same temperature no error will result.

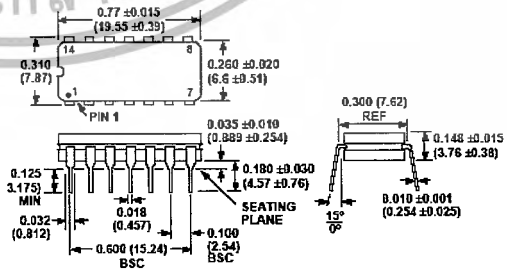
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

TO-116 (D) Package



Cerdip (Q) Package

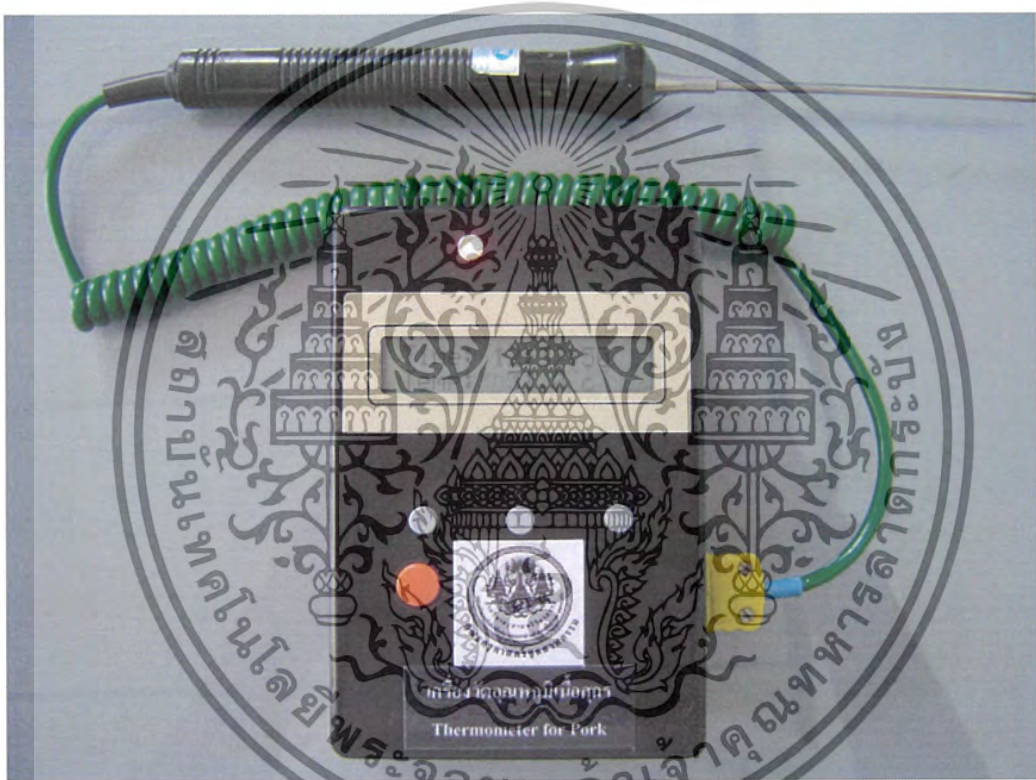


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

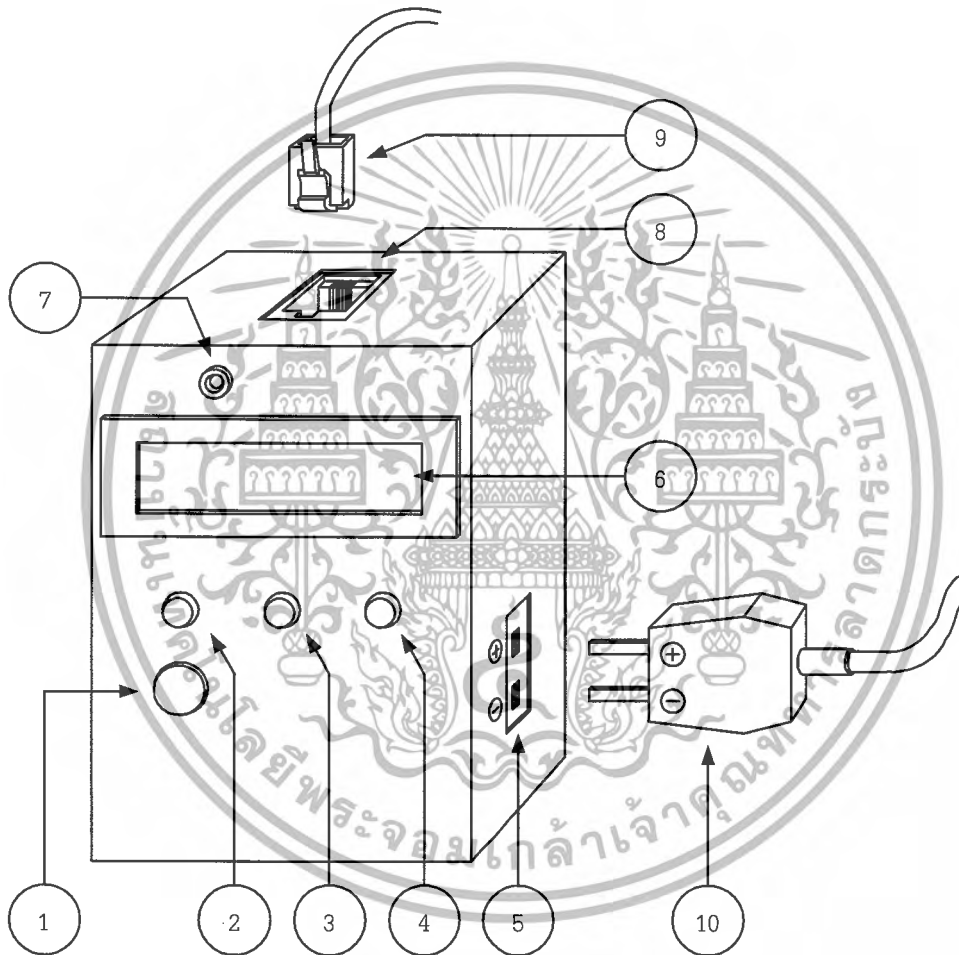
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

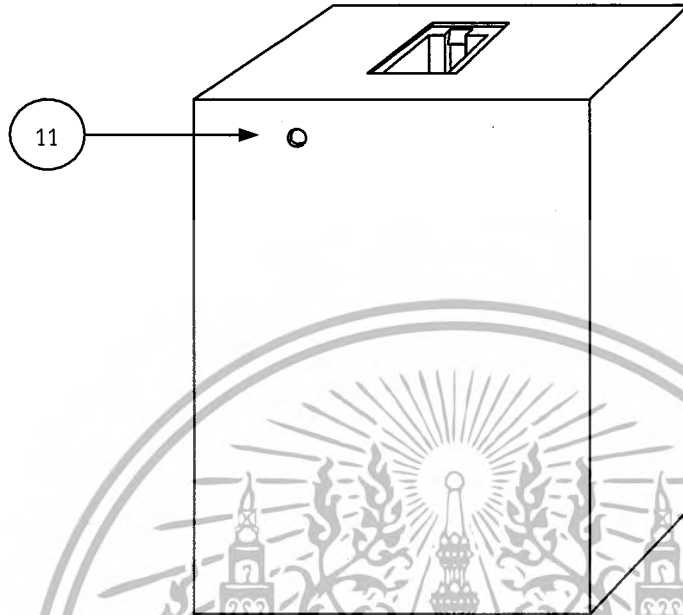
ก่อนที่จะลงมือใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร ควรทำการศึกษารูปร่างการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อการใช้งานที่ถูกต้องและเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรโดยผู้ใช้

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร (หน้าหลัง)

- ① ปุ่ม เปิด-ปิด
- ② ปุ่ม Set_CLK/Shift เป็นปุ่มที่ใช้เข้าสู่โหมดการตั้งเวลาและใช้เลื่อนตัวเลขในการตั้งเวลา
- ③ ปุ่ม Memo เป็นปุ่มที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาที่วัด
- ④ ปุ่ม Send ใช้เมื่อต้องการส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- ⑤ ช่องเสียบขั้วของไฟรบ
- ⑥ จอแสดงผล 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด
- ⑦ LED เตือนเมื่อข้อมูลใกล้เต็มหน่วยความจำ
- ⑧ ช่องเสียบสายโหนดข้อมูล
- ⑨ สายโหนดข้อมูล ปลายสายอีกข้างหนึ่งต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรม
- ⑩ ปลั๊กเสียบของไฟรบ
- ⑪ ช่องสำหรับคอร์ดเซต

3. การติดตั้งและใช้งาน

3.1 เสียบปลั๊กของไฟรบเข้ากับช่องเสียบด้านข้างของตัวเครื่อง โดยสังเกตด้านข้างของช่องเสียบจะมี

ขั้วบวกลบ ให้เสียบตามขั้วบวกลบที่กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เปิดเครื่องโดยกดปุ่มสล็อตด้านหน้าตัวเครื่อง

3.3 กดปุ่ม Set_CLK/Shift เพื่อเข้าสู่โหมดการตั้งเวลา



รูปที่ จ.3 หน้าจอแสดงผลเมื่อเข้าสู่โหมดการตั้งเวลา

3.4 กดปุ่ม Set_CLK/Shift อีกครั้ง เพื่อเลื่อนตัวเลขที่ต้องการในแต่ละหลัก แล้วจึงกดปุ่ม Memo เพื่อเลื่อนหลัก ทำเช่นนี้ไปจนครบหลักสุดท้าย เครื่องจะเข้าสู่โหมดทำงานปกติ

3.5 ทำการวัดอุณหภูมิเนื้อสุกรโดยเสียบโพรบ เข้าที่เนื้อที่ต้องการวัด กดปุ่ม Memo เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาของการวัดครั้งที่ 1

3.6 เมื่อบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หน้าจอแสดงผลจะแสดงข้อความ "Memory Complete!"

3.7 ทำการวัดอุณหภูมิครั้งที่ 2 และ 3 โดยทำเหมือนข้อ 3.5

3.8 ในการบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3 เครื่องจะคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด 3 ครั้งและแสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทางจอแสดงผล

3.9 กดปุ่ม Memo อีกครั้ง เพื่อบันทึกค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด 3 ครั้ง

3.10 เมื่อข้อมูลที่บันทึกใกล้จะเต็มหน่วยความจำ เครื่องจะเตือนผู้ใช้โดยแสดงข้อความ "LOW SPACE!" ที่จอแสดงผลทุกครั้งที่มีการกดปุ่ม Memo และ LED สีแดงจะสว่างตลอดเวลา

3.11 ผู้ใช้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจากตัวเครื่องวัดให้กับคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อสายโหนดข้อมูลเข้ากับพอร์ตอนุกรม

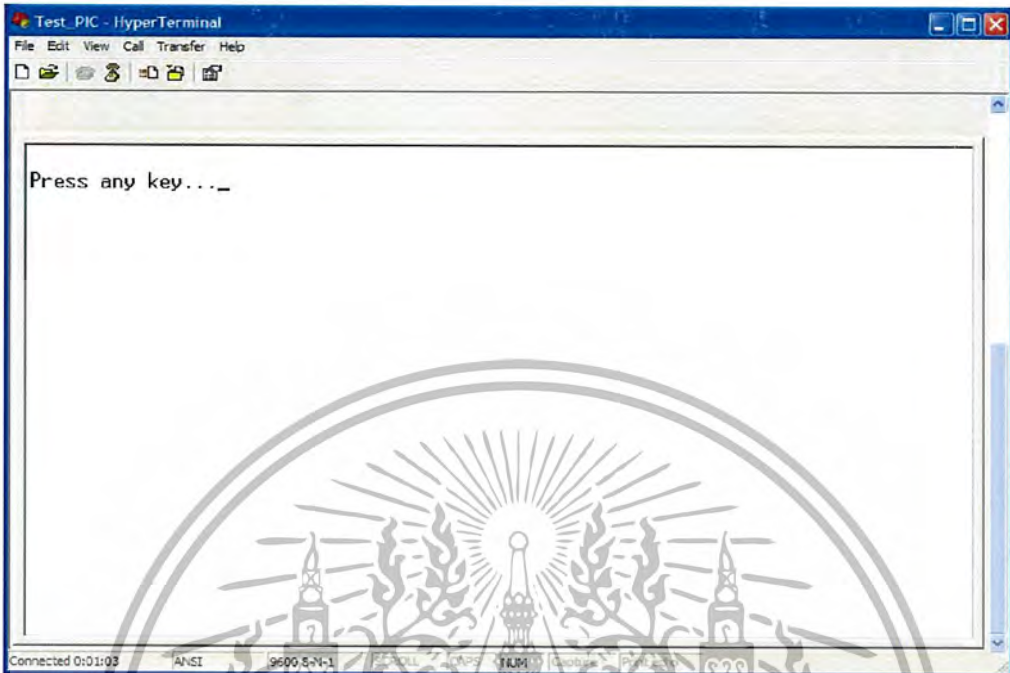
3.12 เปิด HyperTerminal แล้วจึงกดปุ่ม Send สังเกตที่ HyperTerminal จะแสดงข้อความ "Press any key..." ดังรูปที่ จ.4

3.13 กดคีย์บนคีย์บอร์ดเพื่อตอบรับการส่งข้อมูล ขณะที่เครื่องกำลังส่งข้อมูล ที่จอแสดงผลจะแสดงข้อความ "Send to PC!" จากนั้นข้อมูลจะแสดงบน HyperTerminal ดังรูปที่ จ.5

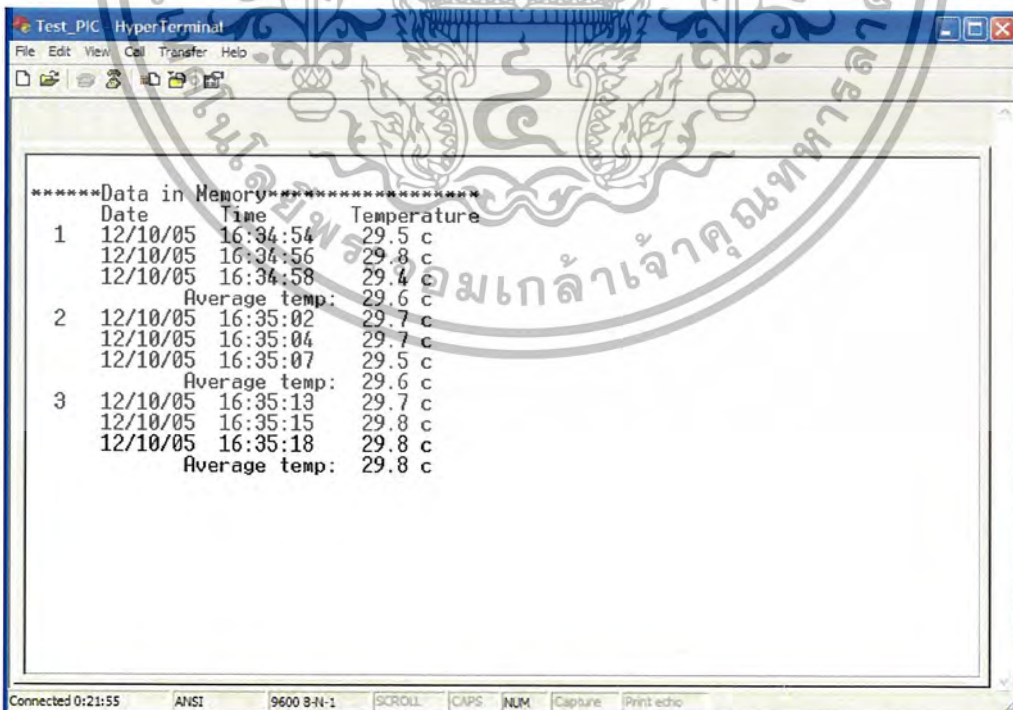
3.14 จากรูปที่ จ.5 เครื่องได้บันทึกข้อมูลไว้ 3 ชุด โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วย อุณหภูมิที่วัด 3 ครั้ง พร้อมวัน เวลา ขณะที่วัดอุณหภูมิของแต่ละครั้ง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด 3 ครั้ง

3.15 เมื่อข้อมูลถูกส่งเรียบร้อยแล้ว หน่วยความจำจะว่างและ LED จะดับ พร้อมทั้งจะบันทึกข้อมูลใหม่ได้สูงสุด 256 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.4 เมื่อกดปุ่ม Send เครื่องจะรอการตอบรับจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ จ.5 เมื่อกดคีย์บนคีย์บอร์ดข้อมูลจะถูกส่งมาแสดงบน HyperTerminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. เมื่อมีข้อมูลเต็มในหน่วยความจำ เครื่องจะแสดงข้อความ "MEMORY FULL!" หลอด LED จะยังคงติดอยู่ตลอดเวลา และเข้าสู่โหมด Memory Full
2. การทำงานของโหมดนี้จะไม่สามารถบันทึกข้อมูลเก็บไว้ได้ แต่ยังคงใช้วัดอุณหภูมิได้ตามปกติ
3. ทำการวัดอุณหภูมิโดยเสียบโพรบเข้ากับเนื้อที่ต้องการวัด วัดแต่ละครั้งให้กดปุ่ม Memo เครื่องจะแสดงค่าอุณหภูมิในขณะที่ยกปุ่ม พร้อมแสดงข้อความ "Temp1" หมายถึง ค่าอุณหภูมิครั้งที่ 1
4. กดปุ่ม Memo อีกครั้ง ทำการวัดอุณหภูมิครั้งที่ 2 โดยกดปุ่ม Memo เครื่องจะแสดงข้อความ "Temp2" หมายถึงค่าอุณหภูมิครั้งที่ 2
5. กดปุ่ม Memo อีกครั้ง ทำการวัดอุณหภูมิครั้งที่ 3 โดยกดปุ่ม Memo เครื่องจะแสดงข้อความ "Temp3" หมายถึงค่าอุณหภูมิครั้งที่ 3
6. กดปุ่ม Memo อีกครั้ง เครื่องจะแสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด 3 ครั้ง
7. เครื่องวัดจะออกจากการทำงานในโหมดนี้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้ทำการโหลดข้อมูลออกจากเครื่อง หรือกดปุ่มรีเซ็ต แต่การรีเซ็ตก็จะทำให้ข้อมูลเก่าที่อยู่ในเครื่องหายไป

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ไข ปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้นของเครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีการแก้ไข
ไม่มีการแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล	ตรวจสอบแบตเตอรี่ว่าเสื่อมคุณภาพหรือไม่, ชั่วแบตเตอรี่อาจไม่แน่น หรือทดลองปรับความเข้มของจอแสดงผล
เวลาของเครื่องไม่เที่ยงตรง	ทดลองตั้งเวลาใหม่ หากยังไม่เที่ยงตรงอาจต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ 3V
การแสดงผลผิดเพี้ยนไปจากระบบการทำงานปกติ	ทดลองรีเซ็ตเครื่องใหม่ หรืออาจเกิดจากแบตเตอรี่เสื่อมให้ทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่
โหลดข้อมูลไม่ได้	ตรวจสอบสายโหลดข้อมูลว่าเชื่อมต่อดีแล้วหรือไม่ หรือตรวจสอบว่าได้เลือกใช้พอร์ต COM1 หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

1. ควรทำความสะอาดส่วนปลายของโพรบอยู่เสมอ เพราะต้องใช้งานกับอุตสาหกรรมอาหาร
2. ตรวจสอบการต่อปลั๊กเสียบของโพรบและหัวต่อสายไหลดข้อมูลก่อนการใช้งาน
3. ควรใช้งานอย่างระมัดระวัง เนื่องตัวเครื่องมีขนาดเล็ก หากกระทบกระเทือนอาจเสียหายได้

5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานของเครื่องก่อนการใช้งานตัวเครื่อง
2. ไม่ควรนำโพรบของเครื่องวัดเสียบกับวัสดุของแข็ง
3. โพรบมีลักษณะที่ค่อนข้างแหลม ควรใช้งานอย่างระมัดระวัง
4. ไม่ควรเก็บตัวเครื่องวัดไว้ในที่ที่มีการสั่นสะเทือนมาก เพราะอาจมีปัญหาที่บังจอร์ได้

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
เครื่องวัดอุณหภูมิเนื้อสุกร	ใช้งานกับอุตสาหกรรมอาหาร หรือวัดอุณหภูมิทั่วไปแสดงผลด้วยจอแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด สามารถวัดอุณหภูมิ 3 ครั้ง แสดงวันเวลาขณะวัด แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัด 3 ครั้ง และบันทึกเป็นข้อมูล 1 ชุด บันทึกข้อมูลได้สูงสุด 256 ชุด และมีโหมดการวัดอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว เมื่อหน่วยความจำมีข้อมูลเต็ม
การวัดอุณหภูมิ	วัดอุณหภูมิในช่วง -50 - 100 องศาเซลเซียส ใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นเซนเซอร์ มีขนาดพกพาสะดวก
การจัดการข้อมูล	หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นแบบอีอีพรอมขนาด 8 Kbyte สามารถเก็บข้อมูลได้สูงสุด 256 ชุด และเชื่อมต่อกับพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม(RS232) เพื่อนำข้อมูลมาจัดเก็บภายนอก
แหล่งจ่ายพลังงาน	แบตเตอรี่ 9V จำนวน 2 ก้อน

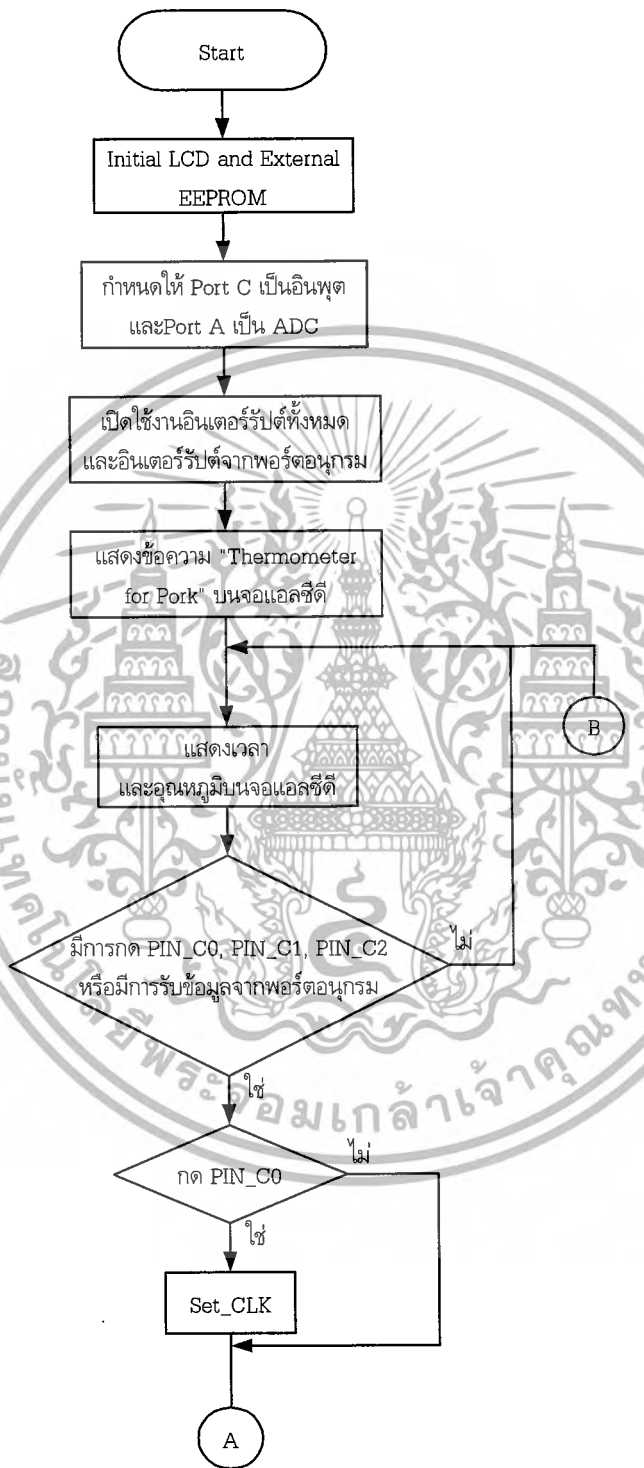
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

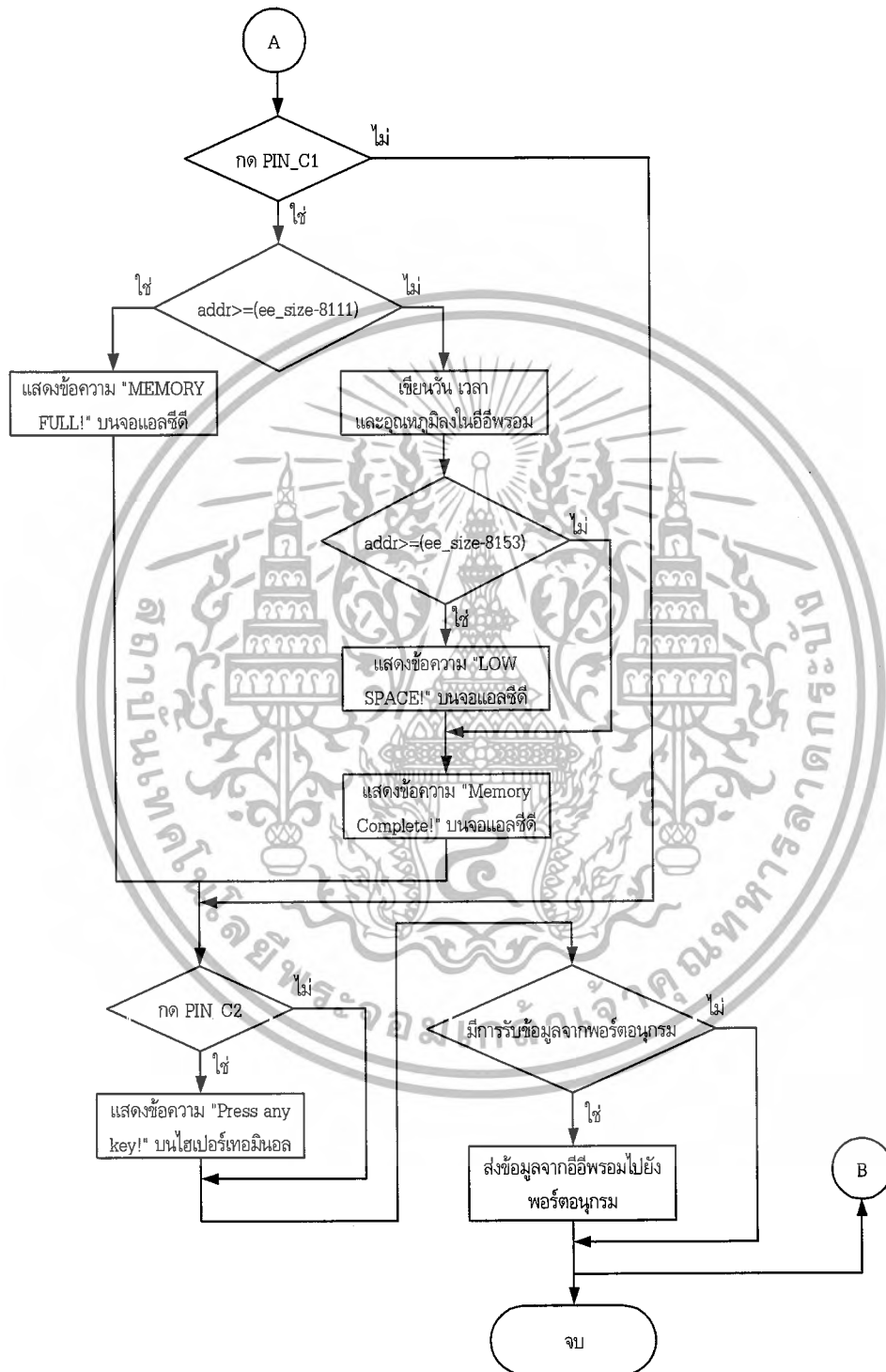
ผังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.1 (ต่อ) แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ช
รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

do{
  ds1307_get_date(day, mth, year, date);
  ds1307_get_time(hr, min, sec);
  printf lcd_putc, "\fTime: %2X:%2X:%2X", hr, min, sec);
  value=read_adc();
  volt=vbe*(float) value;
  //printf lcd_putc, "\fAdc:%ld Vt:%1.5f", value, volt);
  if(value>=379){
    volt=volt+(float)1.64811111;
  }
  if((value<379)&&(value>=372)){
    volt=volt+(float)1.63222222;
  }
  if((value<372)&&(value>=365)){
    volt=volt+(float)1.61777777;
  }
  if((value<365)&&(value>=357)){
    volt=volt+(float)1.60111111;
  }
  if((value<357)&&(value>=351)){
    volt=volt+(float)1.58511111;
  }
  if((value<351)&&(value>=344)){
    volt=volt+(float)1.56911111;
  }
  if((value<344)&&(value>=337)){
    volt=volt+(float)1.55311111;
  }
  if((value<337)&&(value>=330)){
    volt=volt+(float)1.53811111;
  }
  if((value<330)&&(value>=324)){
    volt=volt+(float)1.51711111;
  }
  if((value<324)&&(value>=316)){
    volt=volt+(float)1.50611111;
  }
  if((value<316)&&(value>=310)){
    volt=volt+(float)1.48511111;
  }
  if((value<310)&&(value>=304)){
    volt=volt+(float)1.46511111;
  }
  if((value<304)&&(value>=297)){
    volt=volt+(float)1.44911111;
  }
  if((value<297)&&(value>=291)){
    volt=volt+(float)1.42811111;
  }
  if((value<291)&&(value>=285)){
    volt=volt+(float)1.40811111;
  }
  if((value<285)&&(value>=279)){
    volt=volt+(float)1.38711111;
  }
}

```

```

if((value<279)&&(value>=273)){
    volt=volt+(float)1.36611111;
}
if((value<273)&&(value>=268)){
    volt=volt+(float)1.34111111;
}
if((value<268)&&(value>=262)){
    volt=volt+(float)1.32011111;
}
if((value<262)&&(value>=256)){
    volt=volt+(float)1.29911111;
}
if((value<256)&&(value>=251)){
    volt=volt+(float)1.27411111;
}
if((value<251)&&(value>=246)){
    volt=volt+(float)1.24711111;
}
if((value<246)&&(value>=241)){
    volt=volt+(float)1.22211111;
}
if((value<241)&&(value>=236)){
    volt=volt+(float)1.19611111;
}
if((value<236)&&(value>=231)){
    volt=volt+(float)1.17011111;
}
if((value<231)&&(value>=226)){
    volt=volt+(float)1.14511111;
}
if((value<226)&&(value>=221)){
    volt=volt+(float)1.12211111;
}
if((value<221)&&(value>=216)){
    volt=volt+(float)1.09611111;
}
if((value<216)&&(value>=211)){
    volt=volt+(float)1.07411111;
}
if((value<211)&&(value>=206)){
    volt=volt+(float)1.04711111;
}
if((value<206)&&(value>=201)){
    volt=volt+(float)1.02211111;
}
if(value<201){
    volt=volt+(float)1.00511111;
}

if(i>2){
    ans=average(temp);
    j=1;
    if(no_memo==1) delay_ms(1000);
}

```

```

        if(addr>=(ee_size-11)){//if(addr>=(8192-(ee_size-
(mx_data-9byte)))) //ee_size=8192, mx_data=8190
        if(no_memo==0){
            write_float_ext_eeprom(addr, ans);
            addr=addr+3;
            printf(lcd_putc, "\fMEMORY FULL!\nTemp: %5.1f
c", ans);

            delay_ms(1000);
            no_memo=1;
            i=0;
        }
    }else{
        if(no_memo==0){
            write_float_ext_eeprom(addr, ans);
            addr=addr+3;
            if(addr>=(ee_size-383)){//if(addr++>=(8192-383))
            output_high(PIN_A5); //383=(8192-
(mx_alm+9byte)); mx_alm=7800
            printf(lcd_putc, "\fLOW SPACE!\nTemp: %5.1f
c", ans);
            delay_ms(1000);
        }
        printf(lcd_putc, "\fMemory Complete!\nTemp: %5.1f
c", ans);
        delay_ms(500);
        i=0;
        temp[i]=(rti*volt)-(float)250.000030;
        printf(lcd_putc, "\nTemp: %5.1f c", temp[i]);
        delay_ms(500);
    }
}
i=0;
}else{
    temp[i]=(rti*volt)-(float)250.000030;
    printf(lcd_putc, "\nTemp: %5.1f c", temp[i]);
    delay_ms(500);
}
}
}while((input(PIN_C0))&&(input(PIN_C1))&&(input(PIN_C2))&&(r
x_int));
if(!input(PIN_C0)){
    set_clk();
}
if(!input(PIN_C1)){
    if(addr>=(ee_size-11)){//if(addr>=(8192-(ee_size-
(mx_data-9byte)))) //ee_size=8192, mx_data=8190
        if(no_memo==1){
            printf(lcd_putc, "\fTemp%d\nTemp: %5.1f
c", j, temp[i]);
            delay_ms(1000);
            while(input(PIN_C1));
            j++;
        }else{
            write_float_ext_eeprom(addr, ans);
            addr=addr+3;
            printf(lcd_putc, "\fMEMORY FULL!\nTemp: %5.1f
c", ans);

```

```

        delay_ms(1000);
        no_memo=1;
        i=0;
    }
    }else{
        write_ext_eeprom(addr, date);
        addr=inc_addr(addr);
        write_ext_eeprom(addr, mth);
        addr=inc_addr(addr);
        write_ext_eeprom(addr, year);
        addr=inc_addr(addr);
        write_ext_eeprom(addr, hr);
        addr=inc_addr(addr);
        write_ext_eeprom(addr, min);
        addr=inc_addr(addr);
        write_ext_eeprom(addr, sec);
        addr=inc_addr(addr);
        write_float_ext_eeprom(addr, temp[i]);
        addr=addr+3;
        if(addr>=(ee_size-383)){//if(addr++>=(8192-383))
            output_high(PIN_A5);//383=(8192-(mx_alm+9byte));
mx_alm=7800
        printf(lcd_putc, "\fLOW SPACE!\nTemp: %5.1f
c",temp[i]);
        delay_ms(1000);
        }
        printf(lcd_putc, "\fMemory Complete!\nTemp: %5.1f
c",temp[i]);
        delay_ms(500);
    }
    i++;
}
if(!input(PIN_C2)){
    printf("\n\rPress any key...");
}
if(rx_int==FALSE){
    addr=send_to(addr);
    i=0;
}
}
}

//End of Program-<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<

```

บรรณานุกรม

ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย และชัยวัฒน์ ลีมพรจิตรวิไล. ม.ป.ป. **ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X.**

กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเม้นต์.

ประจัน พลังสันติกุล. ม.ป.ป. **เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเม้นต์.

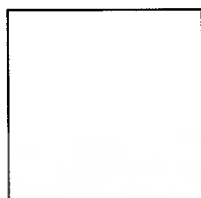
พจนานฎ สุวรรณมณี. 2548. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สมศักดิ์ กীরตวิเศษรัฐ. 2541. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 13. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-นามสกุล

นายชัชวาล ก้อนคำ

วัน เดือน ปีเกิด

29 สิงหาคม พ.ศ. 2524

ภูมิลำเนา

35 หมู่ 1 ตำบลน้ำซุ่น อำเภอห้วยสัก
จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านน้ำซุ่น จังหวัดเพชรบูรณ์

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนห้วยสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

โรงเรียนห้วยสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

ต้องก้าวไปข้างหน้าอย่างมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-นามสกุล

นายชวัล ก้อนคำ

วัน เดือน ปีเกิด

29 สิงหาคม พ.ศ. 2524

ภูมิลำเนา

35 หมู่ 1 ตำบลน้ำซึ่ม อำเภอห้วยสัก
จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านน้ำซึ่ม จังหวัดเพชรบูรณ์

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนห้วยสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

โรงเรียนห้วยสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

ต้องก้าวไปข้างหน้าอย่างมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-นามสกุล

นายอรุณพ โชติกะคาม

วัน เดือน ปีเกิด

21 มกราคม พ.ศ. 2525

ภูมิลำเนา

378 หมู่ 5 ตำบลหนองนาง อำเภอหนองนาง
จังหวัดอุทัยธานี 61110

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนวัดหนองขุนชาติ จังหวัดอุทัยธานี

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนหนองนางวิทยา จังหวัดอุทัยธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ปัญหาไม่มีไว้ให้แก้

คติพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้