



เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล
DIGITAL THERMOMETER



นายปณิธาน สมศรี รหัส 53362853
นายอาทิตย์ ใจสว่าง รหัส 53363232

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 12.0.0.0. 2558.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ..... 17203482.....
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ป
ปี 1994
2557


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2557




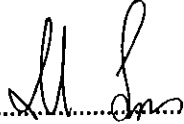
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล
ผู้ดำเนินโครงการ นายปณิธาน สมศรี รหัส 53362853
นายอาทิตย์ ใจสว่าง รหัส 53363232
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


.....กรรมการ
(ดร.มุกิตา สงฆ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายปณิธาน สมศรี รหัส 53362853 นายอาทิตย์ ใจสว่าง รหัส 53363232
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมน่
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ผู้ออกกล้วยน้ำว้าในปัจจุบันถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิและระยะเวลาอบในกล้วยน้ำว้า และไม่ได้คิดตั้งจอแสดงผลบอกค่าอุณหภูมิภายในผู้ออกกล้วยน้ำว้า เพียงแต่ใช้เทอร์โมมิสเตอร์วัดและส่งค่าไปยังวงจรควบคุมการเปิด-ปิดแก๊สแอลพีจีผ่านการปรับตั้งค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถทราบค่าอุณหภูมิที่แน่ชัดภายในผู้ออกกล้วยน้ำว้าได้

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่ใช้งานร่วมกับผู้ออกกล้วยน้ำว้าในการตรวจสอบค่าของอุณหภูมิภายในผู้ออบนี้ เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ทรานซิสเตอร์ที่แปลงค่าของอุณหภูมิเป็นแรงดัน หัววัดอุณหภูมิ และหน้าจอแสดงผล หลักการทำงานเริ่มจากหัววัดอุณหภูมิรับค่าของอุณหภูมิภายในผู้ออบและจัดส่งไปยังทรานซิสเตอร์ที่แปลงค่าของอุณหภูมิเป็นแรงดันทางไฟฟ้าเข้าสู่ตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งประมวลผลและจัดส่งข้อมูลอุณหภูมิไปยังหน้าจอแสดงผลที่เป็นตัวเลขสี่หลัก

จากการทดลองพบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิสำหรับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล สามารถทำการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 40 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของผู้ออกกล้วยน้ำว้า

Project title Digital Thermometer
Name Mr. Panithan Somsri ID. 53362761
Mr. Artit Jaisawang ID. 53363232
Project advisor Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2014

Abstract

Currently, a banana oven is widely used, and it has a different efficiency depending on a temperature and time for baking the banana. Most of the ovens do not have the temperature monitor to notify users. A thermostat is only used for measuring and transmitting the value of the temperature to a control circuit. Then, the valve of the LPG pipe is turned on or off by the control circuit via the temperature set-point; therefore, the users can not know the exact temperature inside the banana oven.

This project is to present a development of a digital thermometer using the banana oven for checking the value of the temperature inside the oven. The developed thermometer consists of four main components: a microcontroller, a transducer that converts the temperature to a voltage, a temperature sensor and a display screen. The principle of the developed thermometer begins with the sensor that transmits the temperature inside the oven to the transducer that converts the temperature to a electrical votage. The voltage as a input is applied to the microcontroller processing and transmitting the temperature data to display a four-digit number on the display screen.

From experimental result, it was found that the developed thermometer can be effectively measured the temperature values between 40 °C and 70 °C with the relative error of $\pm 0.5\%$ without the bad operation of the banana oven.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แยมเม่น ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และดร.มุกิตา สงฆ์จันทร์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตากรุณา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายปณิธาน สมศรี

นายอาทิตย์ ใจสว่าง

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU.....	4
2.2 วงจร IC AD595.....	7
2.3 ภาษาซี (C Programming Language).....	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	8
2.4.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	9
2.4.1.1 ความไว (Sensitivity).....	9
2.4.1.2 โครงสร้าง (Construction)	9
2.4.1.3 ข่ายการใช้งาน (Range)	9
2.4.1.4 เวลาตอบสนอง (Time Response).....	10
2.4.1.5 การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)	10
2.5 โฟโตเซลล์ (Photo Cell).....	11
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	13
3.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้า.....	13
3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
3.3 ศึกษาการใช้งานวงจร IC AD595	15
3.4 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี.....	15
3.5 ศึกษาการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลชนิด 1-โวลต์ เค	15
3.6 ศึกษาการทำงานและการใช้งานของหน้าจอดี.....	15
3.7 ออกแบบชิ้นงานในการควบคุมระบบ	16
3.8 ออกแบบลายวงจร.....	17
3.9 ออกแบบการเขียนโปรแกรมในการควบคุมระบบ	18
3.10 ทดลองการทำงานเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลในตู้อบกล้วยน้ำว้า.....	18
3.11 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	19
ผลการทดลองการหาตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าและ ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้น	19
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	27
5.2 ปัญหาและการแก้ไข.....	27
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	28
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก ก โปรแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล.....	30
ภาคผนวก ข รายละเอียด IC AD595.....	32
ภาคผนวก ค รายละเอียดบอร์ด อาร์ดูไอโน้ ดูเอมิลาร์นูฟ (Arduino Duemilanove)	40
ภาคผนวก ง การติดตั้งโปรแกรม อาร์ดูไอโน้ ดูเอมิลาร์นูฟ (Arduino Duemilanove) เพื่อใช้งาน ..	44
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU..... 5
4.1	ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส ..22
4.2	ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิลดลงตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส24



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการทำงานของขานไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU.....	5
2.2 การใช้งานของ AD595	7
2.3 การแสดงการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).....	8
2.4 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).....	9
2.5 แสดงลักษณะจอแอลซีดี (LCD)	12
3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328-PU.....	14
3.2 การต่อ IC AD595 เพื่อใช้งาน	15
3.3 การต่อหน้าจอลซีดี(LCD).....	16
3.4 Flowchart แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์	16
3.5 ออกแบบลายปรี้น AD595	17
3.6 Flowchart แสดงการรับค่า.....	18
4.1 ลักษณะการวางหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า	19
4.2 การวางตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ในส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ของตู้อบกล้วยน้ำว้า	20
4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส	23
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิลดลงตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส.....	25
4.5 ค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน จากตำแหน่งส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า.....	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในอดีตระบวนการผลิตกล้วยตาก จะนำกล้วยน้ำว้าที่แก่จัดตากแดดบนกระด้งไม้ไผ่ ซึ่งทำให้กล้วยน้ำว้าเกิดเชื้อรา ต่อมาพัฒนามาใช้ตะแกรงอะลูมิเนียมในการตากกล้วยน้ำว้า ก็ยังพบปัญหาความสะอาดของกล้วยตาก จึงใช้ฝ้ายพลาสติกใสรอบตะแกรง เพื่อป้องกันแมลงและ ฝุ่นละออง อย่างไรก็ตามระบบที่กล่าวมาต้องอาศัยแสงแดด ทำให้ในฤดูฝนไม่สามารถผลิตกล้วยตากได้ ในปัจจุบันจึงได้พัฒนาตู้อบ โดยใช้ลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแอลพีจี(LPG) เป่าเข้าสู่ห้องอบ จากถาดชั้นล่างขึ้นสู่ถาดชั้นบน แต่ก็ยังทำให้อุณหภูมิของกล้วยน้ำว้า แต่ละชั้นไม่สม่ำเสมอ ทำให้ต้องอาศัยแรงงานคนในการเปิดตู้เพื่อสลับชั้น ในการเปิดฝาตู้อบแต่ละครั้ง จะมีการสูญเสียพลังงานความร้อน ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแอลพีจี โดยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้แอลพีจีเข้าไปสัมผัสกับผิวกล้วยน้ำว้าโดยตรง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้รับจากตู้อบยังไม่สะอาดตามมาตรฐานสากล (GMP) ต่อมาได้พัฒนาตู้อบกล้วยน้ำว้า ด้วยการป้อนลมบริสุทธิ์เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และส่งผ่านลมร้อนไปยังช่องลมภายในห้องอบกล้วย โดยลมร้อนที่ได้รับ เกิดจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนของน้ำร้อนที่ผลิตขึ้นจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ร่วมกับเครื่องผลิตน้ำร้อนด้วยก๊าซแอลพีจี นอกจากนี้การที่ใช้ลมร้อนบริสุทธิ์เพื่อถ่ายเทความร้อน เข้าสู่กล้วยน้ำว้า ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้า สะอาด ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนตามมาตรฐานสากล ทั้งนี้จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลนี้เพื่อใช้งานร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้า ให้สามารถวัดอุณหภูมิได้และแสดงผลออกหน้าจอแสดงผล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลและใช้งานร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้า ให้สามารถวัดอุณหภูมิได้และแสดงผลออกหน้าจอแสดงผล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่ใช้งานร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้าได้ โดยสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 40 - 70 องศาเซลเซียส

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 พัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่ใช้งานได้ง่าย

1.5.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล สามารถทำให้ผลผลิตของตู้อบกล้วยน้ำว้ามีคุณภาพตามมาตรฐานสากล

1.5.3 สามารถนำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลนี้ใช้งานร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้าและเผยแพร่สู่ชุมชนได้

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.6.1 ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,500 บาท
1.6.2 ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000</u> บาท

หมายเหตุ: ตัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

โครงการนี้เป็นการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU วงจร IC ADS955 เทอร์โมคัปเปิลชนิด type K โฟโต้เซลล์ในการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของผู้บกถด้วยน้ำว่า โดยมีองค์ประกอบดังนี้

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่น ในแต่ละโครงสร้างอันได้แก่ หน่วยความจำภายใน จำนวนขา จำนวนพอร์ต ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกไมโครโปรเซสเซอร์ไปใช้งาน จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ หรือความเหมาะสมของงาน ในโครงสร้างนี้ ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328P มีคุณสมบัติดังนี้

1. เลือกใช้ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เบอร์ ATmega328P ของแอทเมล (ATMEL) ใช้งานที่ความถี่ 16.00 เมกะเฮิรตซ์
2. หน่วยความจำแฟลช FLASH 16 กิโลไบต์ SRAM 1 กิโลไบต์ EEPROM 512 ไบต์
3. มี GPIO ใช้งาน 22 บิตเป็นดิจิทัลจำนวน 14 บิต และ A TO D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 บิต
4. เพาเวอร์ซัพพลายต่อใช้งาน 5 โวลต์ดีซีโดยใช้ได้ทั้งกับ 5 โวลต์ดีซีจากพอร์ตยูเอสบี (USB) และจากแหล่งจ่าย 5 โวลต์ดีซีภายนอกพร้อมแอลซีดีแสดงสถานะ
5. มีวงจร EXTERNAL RESET แบบ RC RESET และ SW RESET
6. ขั้วต่อใช้งานระยะห่าง 2.54 มิลลิเมตรขนาด 28 พิน ระยะห่าง 600 มิลลิเมตรง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และต่อทดลองบนบอร์ดทดลอง
7. ขนาดบอร์ด 2 × 5 เซนติเมตร ขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับ ไอซี 28 พิน
8. ขั้วต่อ USB MINI และ ไอซี USB BRIGE ของ FDTI เบอร์ FT232R บนบอร์ด
9. ขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10 พินสำหรับต่อใช้งานควาน์โพลดให้กับหน่วยประมวลผลในบอร์ด ในกรณีไม่ต้องการควาน์โพลดผ่านทางพอร์ตยูเอสบี

โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

(PCINT14/RESET) PC6	<input type="checkbox"/> 1	28	<input type="checkbox"/> PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	<input type="checkbox"/> 2	27	<input type="checkbox"/> PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	<input type="checkbox"/> 3	26	<input type="checkbox"/> PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	<input type="checkbox"/> 4	25	<input type="checkbox"/> PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	<input type="checkbox"/> 5	24	<input type="checkbox"/> PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	<input type="checkbox"/> 6	23	<input type="checkbox"/> PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	<input type="checkbox"/> 7	22	<input type="checkbox"/> GND
GND	<input type="checkbox"/> 8	21	<input type="checkbox"/> AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	<input type="checkbox"/> 9	20	<input type="checkbox"/> AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	<input type="checkbox"/> 10	19	<input type="checkbox"/> PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	<input type="checkbox"/> 11	18	<input type="checkbox"/> PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	<input type="checkbox"/> 12	17	<input type="checkbox"/> PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	<input type="checkbox"/> 13	16	<input type="checkbox"/> PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	<input type="checkbox"/> 14	15	<input type="checkbox"/> PB1 (OC1A/PCINT1)

รูปที่ 2.1 รูปแบบการทำงานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

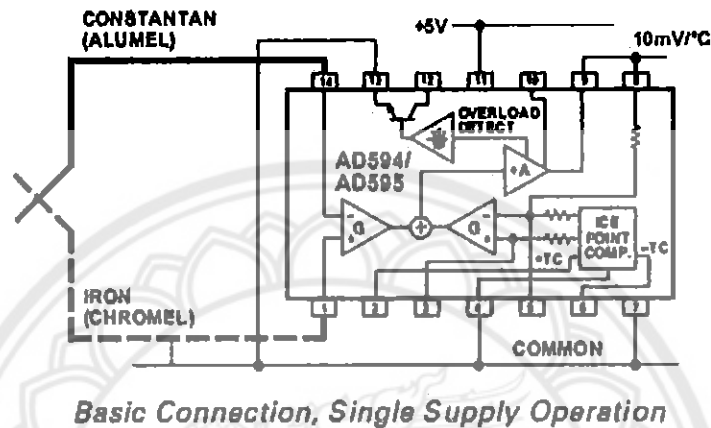
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

ขา	หน้าที่การทำงาน
VCC	แรงดันดิจิทัล
GND	สำหรับต่อลงกราวด์
Port B (P0-P7) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	พอร์ต B เป็น 8 บิตสองทิศทางพอร์ต I/O มีตัวต้านทานพูล-อัพภายใน (เลือกสำหรับแต่ละบิต) พอร์ต B บัฟเฟอร์ส่งออก tri-stated เมื่อตั้งค่าเงื่อนไขจะกลายเป็นการใช้งาน แม้ว่านาฬิกาไม่ได้ทำงานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับที่ตั้งค่าฟิวส์เลือกนาฬิกา PB6 สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการขยายสัญญาณแบบกลับหัว PB7 สามารถใช้เป็นเอาต์พุตจากขยายการกลับหัวออสซิลเลเตอร์
Port C (P0-P5)	พอร์ต C เป็น 7 บิตสองทิศทางพอร์ต I/O ที่มีความต้านทานภายในคิ่งขึ้น (เลือกสำหรับแต่ละบิต) PC5-0 บัฟเฟอร์ส่งออกมีลักษณะสมมาตร ไดรฟ์ที่มีทั้งอย่างสูงและความสามารถในการแหล่งที่มา ในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตขาพอร์ต C ที่มีคิ่งภายนอกจะมาปัจจุบันถ้าตัวต้านทานคิ่งขึ้นจะเปิดใช้งาน ขาพอร์ต C ที่ระบุไว้เมื่อสภาพการตั้งค่าจะกลายเป็นที่ใช้งานแม้ว่านาฬิกาไม่ได้ทำงาน

ขา	หน้าที่การทำงาน
Port C (P6)	หาก RSTDISBL พิวส์เป็นโปรแกรม, PC6 จะใช้เป็นขา I/O โปรดทราบว่าลักษณะไฟฟ้าของ PC6 แตกต่างจากบรรดาขาอื่น ๆ ของพอร์ต C
Port D (P0-P5)	พอร์ต D เป็น 8 บิตสองทิศทางพอร์ต I/O ที่มีความต้านทานภายในคิงขึ้น (เลือกสำหรับแต่ละบิต)พอร์ต D บัฟเฟอร์ส่งออกมีลักษณะสมมาตร โครห์ที่มีทั้งอ้างสูงและความสามารถในการแหล่งที่มา ในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตขาพอร์ต D ที่มีค่าคิงภายนอกจะมาปัจจุบันถ้าตัวต้านทานคิงขึ้นจะเปิดใช้งาน ขาพอร์ต D เป็นไปที่ระบุไว้เมื่อสภาพการตั้งค่าจะกลายเป็นที่ใช้งานแม้ว่านาฬิกาไม่ได้ทำงาน
Port 0 (P0.0-P0.7)	เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตให้กับอุปกรณ์ภายนอกแบบโอเพ่นเดรน (ไม่มีตัวต้านทานพูลอัพภายใน) ดังนั้นการใช้งานพอร์ต 0 จึงจำเป็นต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพด้วยนอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นขาแอดเดรสบัส (A0-A7)ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกและบัสข้อมูล (D0-D7)เพื่อรับข้อมูลการโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
AV _{cc}	AVCC เป็นขาแรงดันสำหรับ A/D Converter PC3และ ADC7มันควรจะเชื่อมต่อภายนอกเพื่อ VCCแม้ว่า ADC ไม่ได้ใช้ ถ้า ADC ถูกนำมาใช้ก็ควรจะเชื่อมต่อกับ VCC ผ่านตัวกรองต่ำผ่าน โปรดสังเกตว่าPC6 การใช้แรงดันคิงติด
AV _{cc}	AVCC เป็นขาแรงดันสำหรับ A/D Converter PC3และ ADC7มันควรจะเชื่อมต่อภายนอกเพื่อ VCCแม้ว่า ADC ไม่ได้ใช้ ถ้า ADC ถูกนำมาใช้ก็ควรจะเชื่อมต่อกับ VCC ผ่านตัวกรองต่ำผ่าน โปรดสังเกตว่าPC6 การใช้แรงดันคิงติด

2.2 วงจร IC AD595

ในการทำงานของวงจร IC AD595 นี้จะเป็นตัวที่ใช้แปลงอุณหภูมิให้เป็นแรงดัน โดยจะทำหน้าที่แปลงจากสาย เทอร์โมคัปเปิลชนิด type K เพื่อแปลงค่าอุณหภูมิออกมาใช้งานได้ และการทำงานของอุณหภูมินี้จะอยู่ในช่วง 0 - 100 องศาเซลเซียสได้ และที่ป้อนเขาไปเลี้ยงใน IC AD595 คือ 5 โวลต์



รูปที่ 2.2 การใช้งานของ AD595

2.3 ภาษาซี (C Programming Language)

ภาษาซี (C Programming Language) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมทั่วไป ถูกพัฒนาครั้งแรกเพื่อใช้เป็นภาษาสำหรับพัฒนาระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (Unix Operating System) แทนภาษาแอสเซมบลี ซึ่งเป็นภาษาระดับต่ำที่สามารถกระทำในระบบฮาร์ดแวร์ได้ด้วย ความรวดเร็ว แต่จุดอ่อนของภาษาแอสเซมบลีก็คือความยุ่งยากในการ โปรแกรม ความเป็นเฉพาะตัว และความแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่อง เดนิส ริตชี (Dennis Ritchie) จึงได้คิดค้นพัฒนาภาษาใหม่นี้ขึ้นมาเมื่อประมาณต้นปี ค.ศ. 1970 โดยการรวบรวมเอาจุดเด่นของแต่ละภาษาระดับสูงผนวกเข้ากับภาษาระดับต่ำ เรียกชื่อว่า ภาษาซี เมื่อภาษาซี ได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีผู้ผลิต compiler ภาษาซีออกมาแข่งขันกันมากมาย ทำให้เริ่มมีการใส่ลูกเล่นต่างๆ เพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อ ทาง American National Standard Institute (ANSI) จึงตั้งข้อกำหนดมาตรฐานของภาษาซีขึ้น เรียกว่า ANSI C เพื่อคงมาตรฐานของภาษาไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป

โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมในภาษาซีทุกโปรแกรมจะประกอบด้วยฟังก์ชันอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันหลัก โดยโปรแกรมภาษาซีจะเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันหลัก ก่อน ในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบด้วย

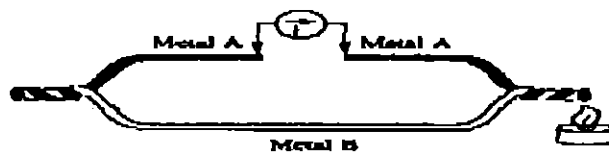
1. Function Heading ประกอบด้วยชื่อฟังก์ชัน และอาจมีรายการของ argument (บางคนเรียก parameter) อยู่ในวงเล็บ

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

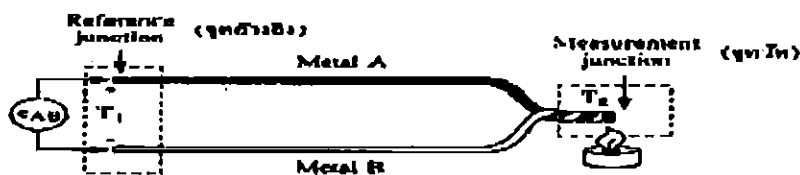
3. Compound Statements ส่วนของประโยคคำสั่งต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็นประโยคเชิงซ้อน (compound statement) กับ ประโยคนิพจน์ (expression statment) โดยประโยคเชิงซ้อนจะอยู่ในวงเล็บปีกกาคู่หนึ่ง { และ } โดยในหนึ่งประโยคเชิงซ้อน จะมีประโยคนิพจน์ที่แยกจากกันด้วยเครื่องหมาย semicolon (;) หลายๆ ประโยครวมกัน และ อาจมีวงเล็บปีกกาใส่ประโยคเชิงซ้อนย่อยเข้าไปอีกได้

2.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อกันปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปด้านล่างเป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คคังกล่าว ดังนั้นสิ่งที่ Thermocouple วัดได้จึงเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ 2 จุด



(ก) กระแสในวงจรเปิด

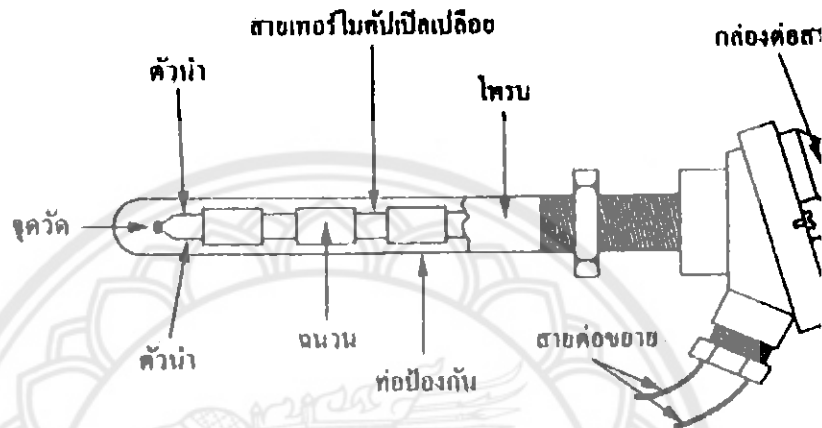


(ข) แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมวงจรปิด

รูปที่ 2.3 การแสดงการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

2.4.1. คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิล

2.4.1.1. ความไว (Sensitivity) ย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิล จะมีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิโวลต์ แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

2.4.1.2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ด้านทานต่อการเกิดออกไซด์ ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นตรงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสเตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเซอร์มันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอโมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

2.4.1.3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

2.4.1.4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

2.4.1.5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล จะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

เทอร์โมคัปเปิลชนิด type K ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด type K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด type K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้อง ทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200 องศาเซลเซียส ถึง 600 องศาเซลเซียส) เทอร์โมคัปเปิลชนิด type K จะมีผลของฮิสเตอร์ีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด type K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด type K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ขบวนการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงในการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270 องศาเซลเซียส ถึง $+1,370$ องศาเซลเซียส

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class 1 = -40 องศาเซลเซียส ถึง +1,000 องศาเซลเซียส หรือ ± 1.5 องศาเซลเซียส
2. Class 2 = -40 องศาเซลเซียส ถึง +1,200 องศาเซลเซียส หรือ ± 2.5 องศาเซลเซียส
3. Class 3 = -200 องศาเซลเซียส ถึง +40 องศาเซลเซียส หรือ ± 2.5 องศาเซลเซียส

รหัสสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30,1993

(รหัสดังกล่าวตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชนิดแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด type K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชนิดขบสัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของชนิด type K

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

ข้อเสียของชนิด type K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับการทำงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ)

2.5 โฟโต้เซลล์ (Photo Cell)

เทคโนโลยีมอนิเตอร์ แอลซีดีย่อมาจากหน้าจอแสดงผลผลึกเหลว (Liquid Crystal Display) ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบดิจิทัล (Digital) โดยภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพ (Back Light) ผ่านชั้นกรองแสง (Polarized filter) แล้ววิ่งไปยังคริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยกัน 3 เซลล์คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงินกลายเป็นพิกเซล (Pixel) ที่สว่างสดใสเกิดขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีที่พัฒนามาใช้กับ แอลซีดี สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. โพลีซิริฟเมทริกต์ (Super-Twisted Nematic) เป็นเทคโนโลยีแบบเก่าที่ให้ความคมชัดและความสว่างน้อยกว่า ใช้ในจอโทรศัพท์มือถือทั่วไป

2. แอคโนซิริฟเมทริกต์ (Thin Film Transistors) สามารถแสดงภาพได้คมชัดและสว่างกว่าแบบแรก ใช้ในจอมอนิเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก สทิวเท็ดนีมาติก (Twisted Nematic) คือสารประเภทนี้จะมีการจัดโครงสร้างโมเลกุลเป็นเกลียว แต่ถ้าเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปมันก็จะคลายตัวออกเป็นเส้นตรง เราใช้ปรากฏการณ์นี้เป็นตัวกำหนดว่าจะให้แสงผ่านได้หรือไม่ สทิวเท็ดนีมาติกผลึกเหลวชนิดนี้จะให้เราสามารถเปลี่ยนทิศทางการสั่นของคลื่นแสงได้ 90 องศาเซลเซียส ถึง 150 องศาเซลเซียส คือเปลี่ยนจากแนวตั้งให้กลายเป็นแนวนอน หรือเปลี่ยนกลับกันจากแนวนอนให้เป็นแนวตั้งก็ได้ ด้วยจุดนี้เองทำให้การตอบสนองสัญญาณเทียบกับเวลา (Response Time) มีค่าสูง

หลักการพื้นฐานคือการบังคับให้หยดของผลึกเหลว (Liquid crystal) ซึ่งมีแผ่นแก้วกักเอาไว้ให้ไปปิดรูช่องแสง ซึ่งแสงถูกฉายมาจากด้านหลังของหน้าจอ ก่อให้เกิดการแสดงผลเป็นตัวอักษร หรือตัวเลขในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ จุดเด่นของหน้าจอแอลซีดีขาว-ดำหรือเรียกอีกอย่างว่าหน้าจอแบบโมโน โกลด์ คือการทำงานที่ไม่อาศัยป็นยิงอิเล็กตรอน จึงช่วยให้ด้านลึกของจอภาพมีขนาดสั้นกว่ามอเนเตอร์แบบซีดีที (CDT) ถึง 3 เท่าและด้วยรูปร่างที่แบนราบทางด้านหน้าและด้านหลัง ขนาดเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบาและประหยัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับการแสดงในโครงการนี้ถูกออกแบบให้แสดงบนจอแสดงผลแอลซีดีแบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดซึ่งแสดงตัวอย่างของแอลซีดีรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะจอแอลซีดี (LCD)

เมื่อมีแสงส่องถูกขั้วลบจะ เกิดอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะวิ่งจากขั้วลบ ไปยังขั้วบวกทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร กระแสไฟฟ้านี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่โฟโต้อิเล็กทรอนิกส์อยู่ และเมื่อมีแสงแล้วการทำงานของเครื่องก็จะทำงานปกติ แต่เมื่อเครื่องทำงานแล้วไม่มีแสงเกิดขึ้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

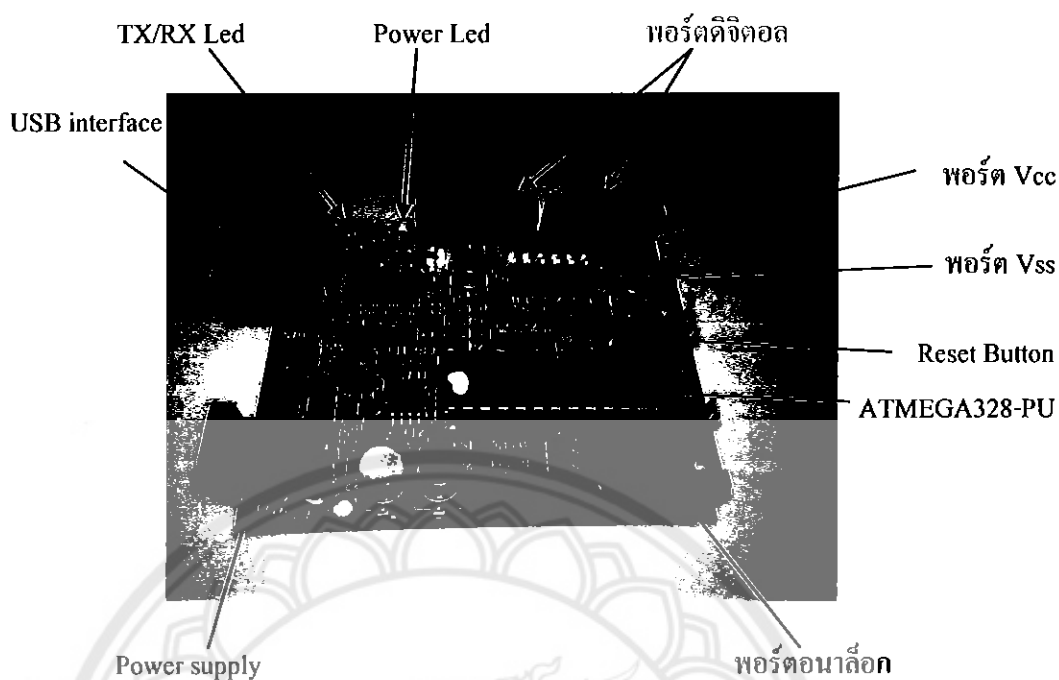
ในการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น โดยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU การทำงานของ IC AD595 การทำงานของเทอร์โมคัปเปิลชนิด type K การใช้งานภาษาซีในการเขียนโปรแกรม พร้อมทั้งการทำงานของหน้าจอแอลซีดีในบทที่ 2 และนำอุปกรณ์มาต่อใช้งานเพื่อนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้า

ในกระบวนการอบกล้วยน้ำว้าในปัจจุบันด้วยการใช้ตู้อบกล้วยน้ำว้าที่อาศัยก๊าซแอลพีจี (LPG) เป็นแหล่งนำพาความร้อนไปยังห้องอบกล้วยน้ำว้าโดยเป่าก๊าซร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแอลพีจีเข้าสู่ห้องอบโดยตรง ทำให้อุณหภูมิการอบกล้วยในแต่ละชั้น ไม่สม่ำเสมอกล้วยที่อบอยู่ช่วงชั้นล่างจะมีสีคล้ำและไหม้ บริเวณช่วงชั้นกลางจะมีอุณหภูมิเหมาะสมพอดี ส่วนกล้วยที่อยู่ช่วงชั้นบนจะไม่แห้งซึ่งลมร้อนนี้ไม่สะอาดมีสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เขม่าควัน และฝุ่นปะปนอยู่ทำให้ไม่สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ให้สะอาดได้ตามมาตรฐานสากลและต่อมาราจึงพัฒนาการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้าให้สามารถทำงานได้ร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้าที่ใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้าจะมีวิธีการประยุกต์ใช้พลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการสร้างระบบอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิ โดยการใช้เครื่องเป่าลม เป่าลมผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้ลมร้อนบริสุทธิ์ป้อนเข้าสู่ห้องอบกล้วยซึ่งจากการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้าที่ได้กล่าวมาทั้งสองแบบนี้ ก็ยังต้องอาศัยการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบกล้วยน้ำว้าเพื่อให้สามารถผลิตกล้วยน้ำว้าที่ได้มาตรฐานสากล

3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล โดยการใช้งานบอร์ดสำเร็จรูปในการทำงานซึ่งจะมีการใช้งานพอร์ตต่างๆดังต่อไปนี้



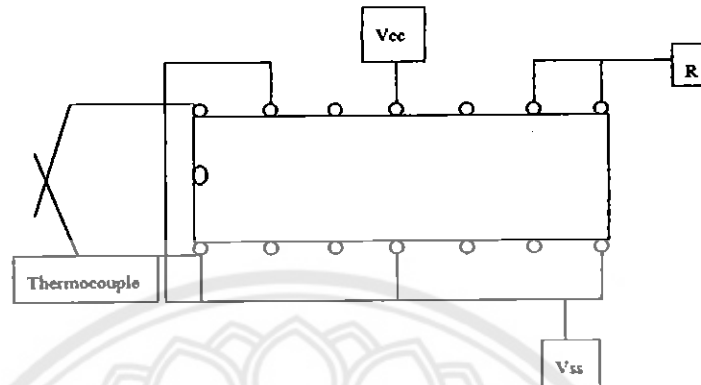
รูปที่ 3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328-PU

รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- TX/RX Led คือ หลอดแอลอีดีแสดงผลเมื่อมีการรับค่าหรือส่งค่า จากคอมพิวเตอร์
- พอร์ตดิจิตอล คือ ขาดิจิตอลสำหรับรับและส่งค่าเป็นดิจิตอล
- Power Led คือ ไฟแอลอีดีแสดงสถานะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานหรือไม่ทำงาน
- Reset Button คือ สวิตช์เพื่อใช้ในการรีเซ็ตการทำงาน
- พอร์ตอนาล็อก คือ ขาอนาล็อกสำหรับรับค่าอนาล็อก
- พอร์ต Vcc คือ ทำหน้าที่จ่ายไฟ +5 V
- พอร์ต Vss คือ ทำหน้าที่เป็นกราว
- USB interface คือ บริเวณเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- Power supply คือ จุดรับไฟจากภายนอก

3.3 ศึกษาการใช้งานวงจร IC AD595

จากการทำงานของ IC AD595 เป็นการศึกษาการต่อไอซีเพื่อใช้งานร่วมกับระบบควบคุมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบคิจิตอลที่พัฒนาขึ้น (ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2)



รูปที่ 3.2 การต่อ IC AD595 เพื่อใช้งาน

3.4 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี

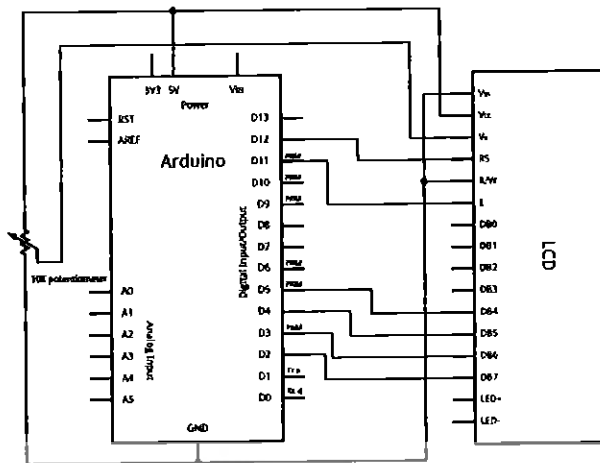
จากการศึกษาการใช้งานภาษาซี ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Arduino (ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3)

3.5 ศึกษาการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลชนิด ไทร์ เค

จากการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล (ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4) และการนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด type K มาต่อใช้งานร่วมกับ IC AD595 (ดังแสดงในบทที่ 3 รูปที่ 3.1)

3.6 ศึกษาการทำงานและการใช้งานของหน้าจอลิควิดคริสตัล

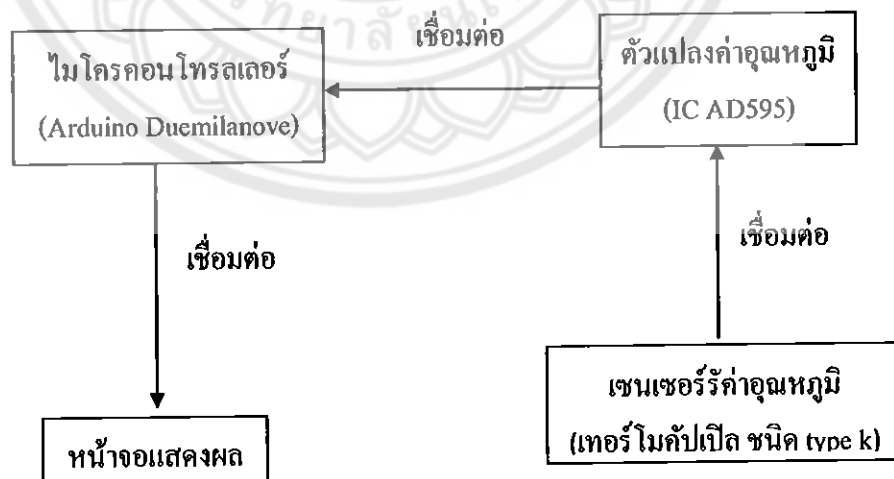
การทำงานของจอแอลซีดีจะทำหน้าที่เป็นจอแสดงผลการทำงานของระบบ โดยจะติดตั้งจอแอลซีดีไว้หน้ากล่องควบคุมเพื่อใช้ในการแสดงผลการทำงาน โดยขนาดของจอแอลซีดีจะมีขนาด 16x2 เซนติเมตร และเพื่อง่ายต่อการวางในกล่องควบคุม (ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5) โดยมีการต่อหน้าจอลิควิดคริสตัลเพื่อใช้งานดังนี้



รูปที่ 3.3 การต่อหน้าจอลiquid crystal display (LCD)

3.7 ออกแบบชิ้นงานในการควบคุมระบบ

การออกแบบกระบวนการทำงานของระบบด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกออกแบบให้มีความง่ายเพื่อใช้งานโดยใช้ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Duemilanove ซึ่งเป็นบอร์ดสำเร็จรูปโดยวงจรจะเป็นวงจรบอร์ดเชื่อมต่อกับตัวอุปกรณ์ภายนอก เช่น IC AD595 หน้าจอลiquid crystal display เชื่อมต่อการทำงานโดยใช้สายเพื่อความสะดวกในการถอดประกอบและเคลื่อนย้าย โดยจำเป็นต้องมีวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

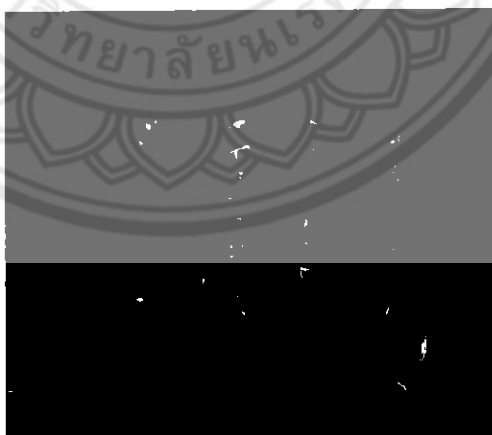


รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์

3.8 ออกแบบลายวงจร

การออกแบบวงจรโดยการออกแบบลายปริ้นให้กับวงจรของ ADS95 เพื่อจ่ายต่อการนำไปใช้งานร่วมกับวงจรอื่นๆ และเพื่อจ่ายต่อการวางในกล่องควบคุม โดยจะมีการทำงานคือ

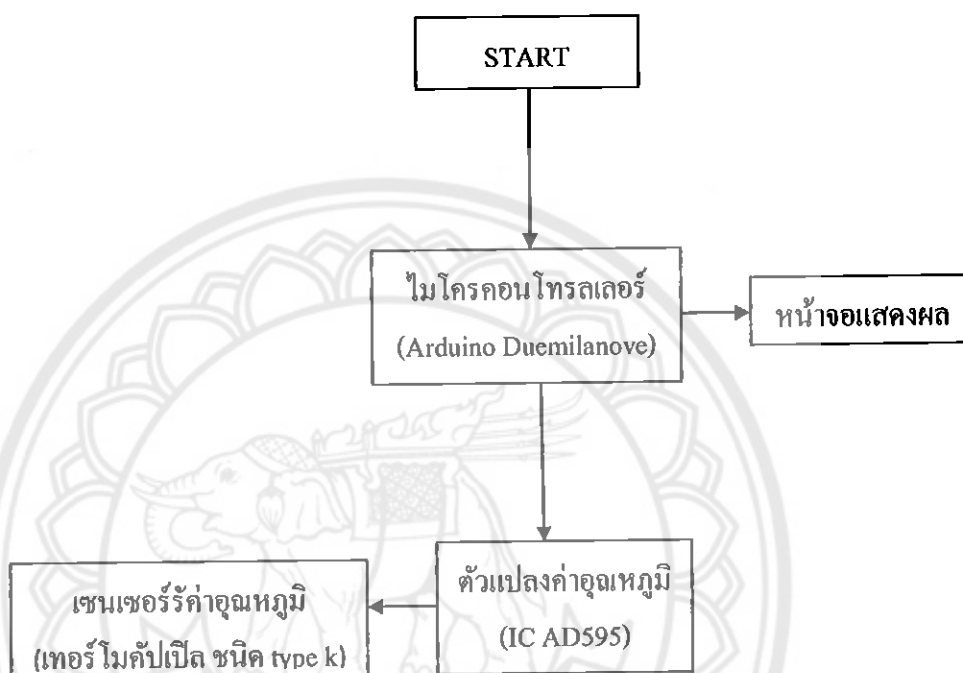
1. ออกแบบลายปริ้นโดยการจำลองในคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม proteus
2. ทำการปริ้นลายปริ้นที่ได้ โดยจะใช้กระดาษพิมพ์มัน
3. ทำการตัดแผ่นทองแดงให้ใหญ่กว่าแผ่นปริ้นเล็กน้อย แล้วนำไปทำความสะอาด
4. ใช้แผ่นไคร์ฟิล์มติดกับแผ่นทองแดง แล้วนำแผ่นลายปริ้นมาติดทับ จากนั้นก็ฉายแสงใส่ประมาณ 5-10 นาที
5. พอฉายแสงเสร็จก็จะนำกระดาษลายปริ้นออกแล้วก็นำไปแช่น้ำยาโซเดียมคาบอเนต มาผสมกับน้ำ แล้วนำแผ่นทองแดงที่ฉายแสงมาแช่ในน้ำยา จนกว่าแผ่นไคร์ฟิล์มที่ติดกับแผ่นทองแดงจะออกหมด
6. พอแผ่นไคร์ฟิล์มที่ติดกับแผ่นทองแดงออกหมดแล้วจะเหลือเป็นเส้นสีน้ำเงินเข้ม ให้นำน้ำยาคัดปริ้นมาผสมน้ำแล้วนำแผ่นทองแดงลงไปแช่ จนกว่าทองแดงจะหมดจากแผ่น เหลือแค่เส้นที่เราออกแบบไว้
7. จากนั้นให้ใช้แปรงขัดเส้นสีน้ำเงินออกโดยขัดเบาๆเพื่อไม่ให้เส้นทองแดงหลุด จากนั้นก็เจาะรูแล้วลง อุปกรณ์ได้เลย



รูปที่ 3.5 ออกแบบลายปริ้น ADS95

3.9 ออกแบบการเขียนโปรแกรมในการควบคุมระบบ

ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ภาษา ซี ในการพัฒนาโปรแกรมและส่วนการติดตั้งโปรแกรมเพื่อนำมาใช้งาน (ดังแสดงในหัวข้อภาคผนวก ก และภาคผนวก ง)



รูปที่ 3.6 Flowchart แสดงการรับค่า

3.10 ทดลองการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลในตู้อบกล้วยน้ำว้า

จากการทดลองการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นในตู้อบกล้วยน้ำว้านี้จะเป็นการนำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลไปใช้งานจริง (ดังแสดงในบทที่ 4)

3.11 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและสรุปผลการทดลองของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นในตู้อบกล้วยน้ำว้า (ดังแสดงในบทที่ 4 และแสดงในบทที่ 5 หัวข้อ 5.1 5.2 และ 5.3)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้น ได้ออกแบบการทดลองเกี่ยวกับการหาตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมและการวัดความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสำหรับการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า โดยมีผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองการหาตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าและความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้น

ในการทดลองการหาตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าและความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.1

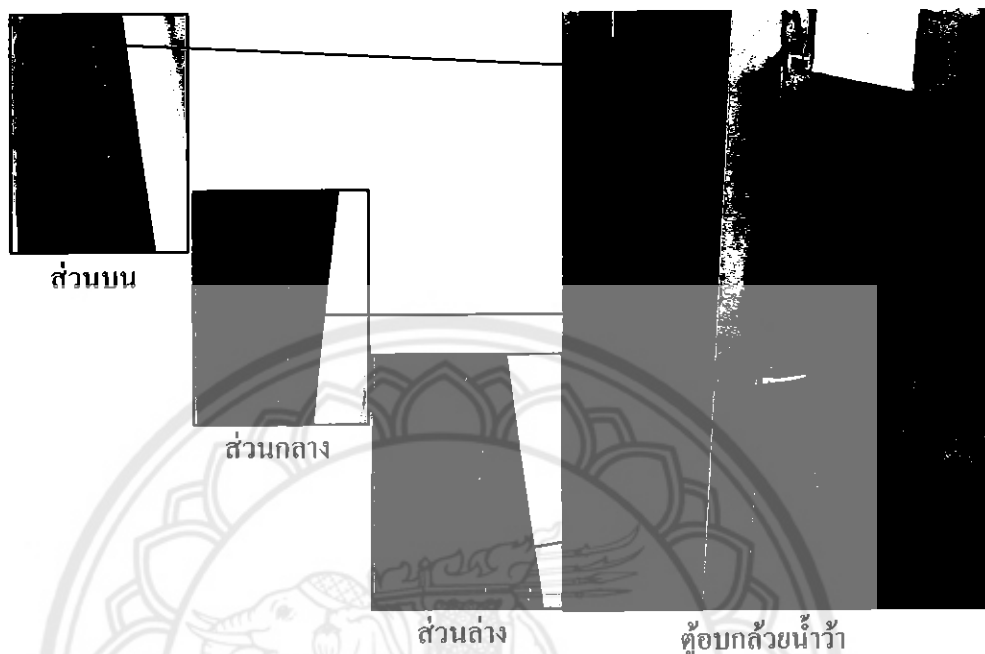
หัววัดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น



เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

รูปที่ 4.1 ลักษณะการวางหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น
เทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า

โดยวางตำแหน่งหัววัดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานไว้ 3 ตำแหน่งคือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง ของตู้อบกล้วยน้ำว้า ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การวางตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ในส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ของตู้อบกล้วยน้ำว้า

ทำการทดลองหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า ในการทดลองนี้จะทำการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส กับทำการวัดอุณหภูมิที่ลดลงจาก 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส เพื่อหาตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิและความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้ได้บันทึกค่าของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าประมาณ 4 องศาเซลเซียส ในแต่ละครั้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิลดลง จากนั้นสังเกตอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานว่าเป็นไปตามการวิเคราะห์ตั้งแต่ตู้อบกล้วยน้ำว้าเริ่มทำงานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลดลงจาก 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส

การทดลองหาค่าแห่งของหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าและความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานไว้ 3 ตำแหน่ง คือ ส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ของตู้อบกล้วยน้ำว้า ทำให้ทราบถึงความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแต่ละช่วงของอุณหภูมิ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละช่วงของอุณหภูมิที่บันทึกไว้ เพื่อให้ได้ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยที่สุด ในการหาค่าแห่งของหัววัดอุณหภูมิและความเที่ยงตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น ดังสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2

การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

$$\% \text{ Relative Error} = \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1

โดยที่ % Relative Error คือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

Y_i คือ ค่าจริงจากการวัด (โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน)

X_i คือ ค่าที่วัดได้ (โดยวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้น)

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย(เปอร์เซ็นต์)

$$\% \text{ Relative Error Average} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.2

โดยที่ % Relative Error Average คือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์)

Y_i คือ ค่าจริงจากการวัด (โดยวัดจากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน)

X_i คือ ค่าที่วัดได้ (โดยวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้น)

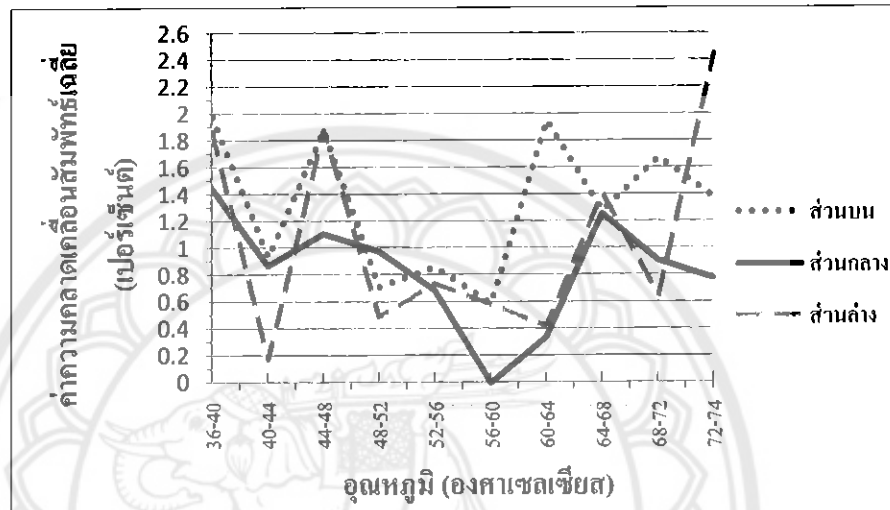
N คือ จำนวนครั้งของการวัด

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส

จุดวัด	ค่าอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ที่วัดจาก						ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์		
	เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น			เทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน			(เปอร์เซ็นต์)		
	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง
1	36.07	35.97	36.98	36.8	36.5	36.3	1.98	1.45	1.87
2	40.58	39.65	40.13	40.2	40.0	40.2	0.94	0.87	0.17
3	43.27	44.69	43.66	44.1	44.2	44.5	1.88	1.11	1.88
4	48.64	48.42	48.94	48.3	48.9	48.7	0.71	0.98	0.49
5	53.45	51.74	52.11	52.0	52.1	52.5	0.86	0.69	0.74
6	56.36	56.00	56.43	56.7	56.0	56.1	0.59	0.00	0.58
7	61.48	59.89	60.24	60.3	60.1	60.5	1.95	0.34	0.42
8	65.43	65.01	65.00	64.6	64.2	64.1	1.28	1.26	1.41
9	69.55	68.72	68.25	68.4	68.1	68.7	1.68	0.91	0.65
10	71.80	72.97	71.01	72.2	72.4	72.8	1.38	0.78	2.45
ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย(เปอร์เซ็นต์)							1.32	0.83	1.06

จากตารางที่ 4.1 การวัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 1 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงถึง 1.98 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 7 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รองลงมาจากชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.95 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 6 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.59 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 1.45 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 8 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รองลงมาจากชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.26 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 6 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.00 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนค้ำล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 10 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.45 เปอร์เซ็นต์ และ ในชุดที่ 2 มีค่า

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดในส่วนด้านล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.17 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากทดลองทั้ง 3 ส่วนของตู้อบกล้วยน้ำว้า จะพบว่าส่วนกลางมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุด มีค่าอยู่ที่ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ณ ตำแหน่งนี้ จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า



รูปที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส

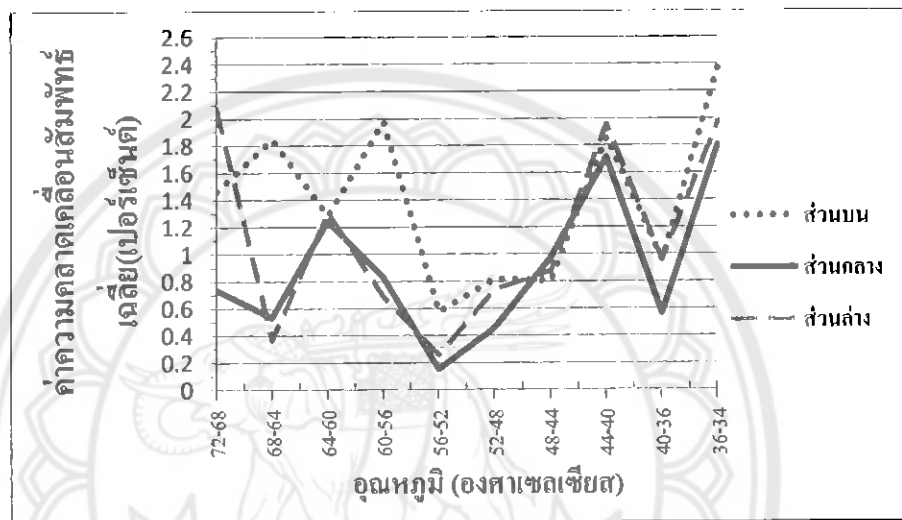
จากรูปที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 36 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 72 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้าจะใช้อุณหภูมิในการอบกล้วยน้ำว้า อยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 50 - 60 องศาเซลเซียส ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย(เปอร์เซ็นต์) เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะใช้วัดอุณหภูมิเพราะอุณหภูมิที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก แต่ในส่วนบนและส่วนล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้าที่วัดค่าได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) มากกว่าส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า จึงเป็นตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในใช้วัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิตดลงตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส

ชุดที่	ค่าอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ที่วัดจาก						ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์		
	เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น			เทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน			(เปอร์เซ็นต์)		
	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง	ส่วนบน	ส่วนกลาง	ส่วนล่าง
1	73.16	71.96	71.28	72.1	72.5	72.6	1.47	0.74	2.07
2	69.57	68.57	68.96	68.3	68.2	68.7	1.85	0.54	0.37
3	65.03	65.11	63.76	64.2	64.3	64.6	1.29	1.25	1.31
4	61.29	59.59	59.98	60.1	60.2	60.4	1.98	0.84	0.69
5	57.02	56.09	56.13	56.7	56.0	56.1	0.58	0.16	0.26
6	51.57	52.74	52.11	52.0	52.1	52.5	0.82	0.46	0.74
7	48.84	48.22	48.27	48.4	48.7	48.7	0.81	0.98	0.88
8	45.03	44.21	43.88	44.2	44.6	44.5	1.87	1.72	1.96
9	40.6	39.87	40.21	40.3	40.1	40.6	0.96	0.57	0.96
10	35.82	37.06	35.97	36.7	36.4	36.7	2.39	1.81	1.98
ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย(เปอร์เซ็นต์)							1.41	0.91	1.12

จากตารางที่ 4.2 การวัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 10 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สูงถึง 2.39 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รองลงมาจากชุดที่ 10 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.98 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 5 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุด ในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนบนของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.41 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 10 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 1.81 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 8 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รองลงมาจากชุดที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.72 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่ 5 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุด ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.16 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนด้านล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการวัดอุณหภูมิมากอยู่ในชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อน

สัมพัทธ์ 2.07 เปอร์เซ็นต์ และในชุดที่ 5 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุด ในส่วนด้านล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าอยู่ที่ 0.26 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยที่วัดได้ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองทั้ง 3 ส่วนของตู้อบกล้วยน้ำว้า จะพบว่าส่วนกลางมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยที่สุด อยู่ที่ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ณ ตำแหน่งนี้ จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า



รูปที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ที่อุณหภูมิทดลองตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของอุณหภูมิที่วัดได้จาก เครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิลดลงตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเป็น 36 องศาเซลเซียส จากการทำงานของตู้อบกล้วยน้ำว้าจะใช้ อุณหภูมิในการอบกล้วยน้ำว้าอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 60 - 50 องศาเซลเซียส ของส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้ามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย(เปอร์เซ็นต์) เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะใช้วัดอุณหภูมิเพราะอุณหภูมิที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก แต่ในส่วนบนและส่วนล่างของตู้อบกล้วยน้ำว้าที่วัดค่าได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) มากกว่าส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า จึงเป็นตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในใช้วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานจากตำแหน่งส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า

จากรูปที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานจากตำแหน่งส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้า โดยค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้าจึงเป็นตำแหน่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุด ทำให้ตำแหน่งส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้ามีความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ค่าการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในส่วนกลางของตู้อบกล้วยน้ำว้าอยู่ที่ 0.83 และ 0.91 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ออกแบบ ทดสอบ และทำการพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล โดยใช้ระยะเวลาดำเนินโครงการ 2 ภาคการศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล และใช้งานร่วมกับตู้อบกล้วยน้ำว้า ได้มีการวัดอุณหภูมิและแสดงผลออกหน้าจอแสดงผล หลังจากที่ได้ดำเนินการทดลองระบบในบทที่ 4 พบว่าการทดลองการวัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง พร้อมข้อเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลสามารถวัดอุณหภูมิแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในส่วนของโปรแกรมได้ออกแบบเพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้ การติดตามผลการทำงานของระบบพบว่าไม่มีปัญหาความล่าช้าในการแสดงผล ในกรณีทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าไปขณะที่ระบบกำลังทำงาน โปรแกรมจะมีความหน่วงในการแสดงผลล่าช้า ประมาณ 2 วินาที ในวินาทีแรกทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์การแสดงผลผ่านจอแสดงผล ไม่สามารถประมวลผลได้ทัน และวินาทีต่อมาโปรแกรมก็สามารถแสดงผลได้ทันกับข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากระบบและสามารถแสดงผลได้โดยไม่มีปัญหาใดๆ

การวัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าที่มีความแม่นยำสูง ได้มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ มีคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในการควบคุมอุณหภูมิ รวมถึงยังสามารถแสดงผลผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี ได้ตลอดระยะเวลาของการทำงานตู้อบกล้วยน้ำว้า

5.2 ปัญหาและการแก้ไข

1. ระบบยังมีความคลาดเคลื่อนในการวัดอุณหภูมิ กล่าวคือมีการแกว่งของอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นภายในตู้อบกล้วยน้ำว้า
2. โปรแกรมมีความล่าช้าในการแสดงผล ที่เกิดจากการประมวลผลทางด้านจอแสดงผลไม่ทันกับข้อมูลที่รับเข้ามาในวินาทีแรกทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ขณะระบบกำลังทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากปัญหาที่พบในการทำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในตู้อบกล้วยน้ำว้า จำเป็นต้องศึกษา แนวทาง แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อการพัฒนาตู้อบกล้วยน้ำว้า ดังต่อไปนี้

1. ควรใช้วิธีการควบคุมแบบอื่นที่มีการเก็บค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ แล้วนำไปคำนวณเพื่อ สะดวกในการควบคุม เช่น PID , Fuzzy เป็นต้น
2. ควรปรับปรุงโปรแกรมให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น เพื่อลดการแสดงผลทางจอแสดงผลในช่วง การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบ



เอกสารอ้างอิง

- [1] ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328P สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2557
จาก <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>
- [2] การทำงานของ IC AD595 สืบค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2557
จาก www.analog.com/static/imported-files/.../AD594_595.pdf
- [3] ภาษาซี (C Programming Language) สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2557
จาก http://itd.htc.ac.th/st_it50/it5016/nidz/Web_C/unit2.html
- [4] ความหมายของเทอร์โมคัปเปิล สืบค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2557
จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0991/thermocouple-เทอร์โมคัปเปิล>
- [5] คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิล ข้อดี ข้อเสีย สืบค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2557
จาก http://itd.htc.ac.th/st_it50/it5016/nidz/Web_C/unit2.html
- [6] ไฟโต้เชลล์ สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2557
จาก <http://www.rmutphysics.com/CHARUD/invention/invention2/Nanodisplay/nanodisplay4.htm>
- [7] การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2557
จาก http://errorsofmeasurement.blogspot.com/2013_11_01_archive.html
- [8] การติดตั้งโปรแกรม Arduino สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2557
จาก <http://arduino.cc/en/main/software>



ภาคผนวก ก

โปรแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล


```
#include <AD595.h> //ฟังก์ชันไมโครAD595

#include <LiquidCrystal.h> //ฟังก์ชันจอแอลซีดี

AD595 thermocouple;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // ประกาศสัญญาณฝั่งออกไปยังแอลซีดี

int A;

int led = 13;

void setup() {

  pinMode(led, OUTPUT);

  thermocouple.init(0);

  Serial.println("AD595 test");

  lcd.begin(16, 2); // ฟังก์ชันจอแอลซีดี

  // wait for AD595 chip to stabilize

  delay(500);

  Serial.begin(9600);

  thermocouple.init(0);

  Serial.println("AD595 test");

  // wait for AD595 chip to stabilize

  delay(500);

}
```

```
void loop()
{
  float temp=thermocouple.measure(TEMPC);

  lcd.setCursor(1, 0); //หน้าจอหลักที่ 1 ออกแถว 0

  lcd.print("Temp = "); //ออกหน้าจอ

  lcd.print(temp);

  lcd.setCursor(13, 0); //หน้าจอหลักที่ 13 ออกแถว 0

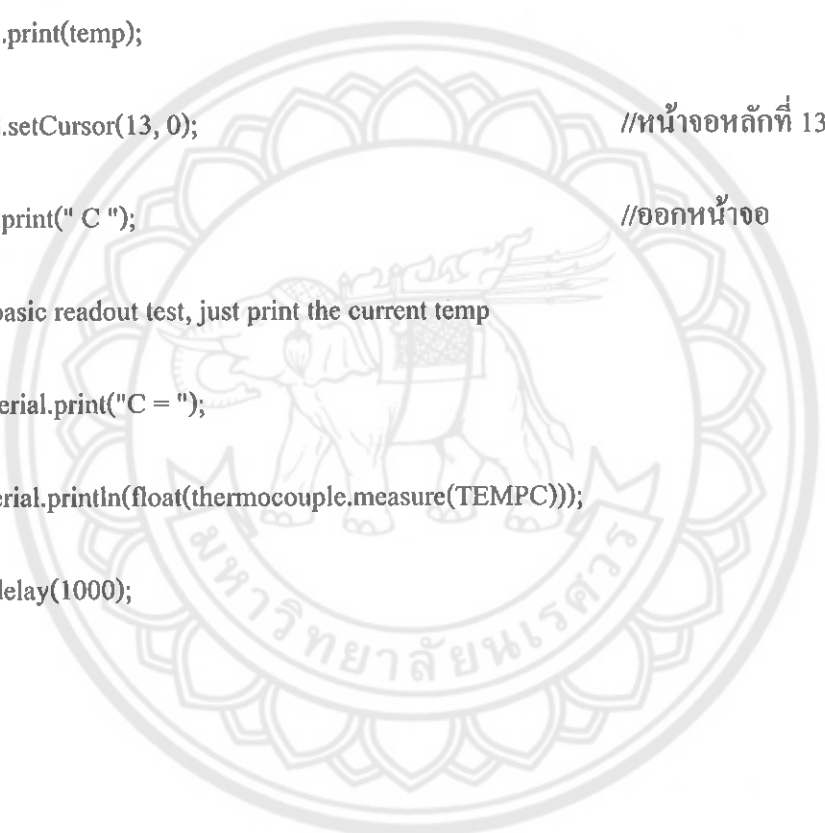
  lcd.print(" C "); //ออกหน้าจอ

  // basic readout test, just print the current temp

  Serial.print("C = ");

  Serial.println(float(thermocouple.measure(TEMPC)));

  delay(1000);
}
```





ภาคผนวก ข

รายละเอียด IC AD595

มหาวิทยาลัยนเรศวร



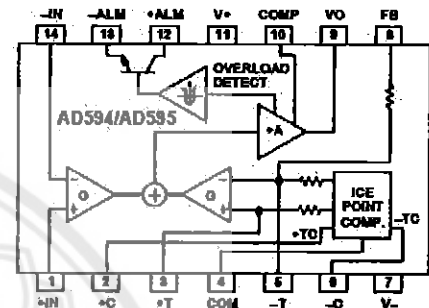
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

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

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													
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													
$V_{CAP(17)}$ at 2 mA		0.3			0.3			0.3			0.3		Volts
Leakage Current			±1			±1			±1			±1	μA max
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 limit. Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 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 outgoing 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 FB-CUNI

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	-995	-189	-777	-189	680	37.893	7332	28.288	6998
-10	-501	-94	-392	-94	700	39.130	7571	29.128	7206
0	0	3.1	0	2.7	720	40.382	7813	29.965	7413
10	.507	101	.397	101	740	41.647	8058	30.799	7619
20	1.019	200	.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	-	-	44.359	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	18.938	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

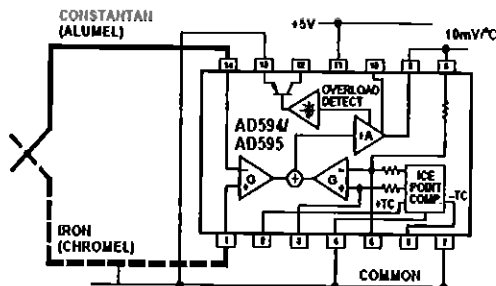


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

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

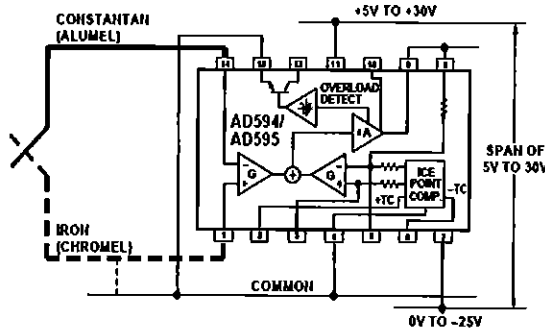


Figure 2. Dual Supply Operation

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.

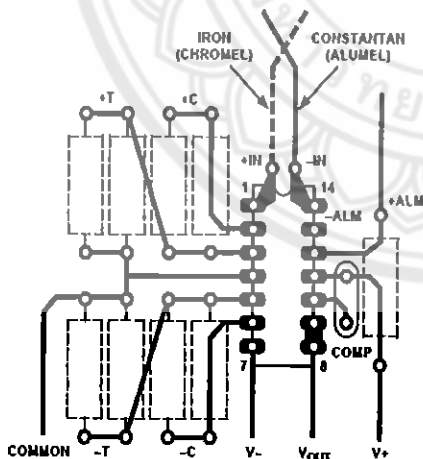


Figure 3. PCB Connections

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.

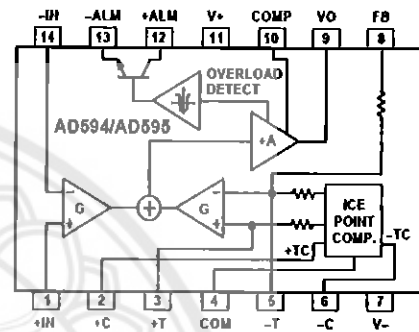


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

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.

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.

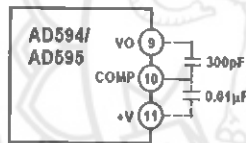


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

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.

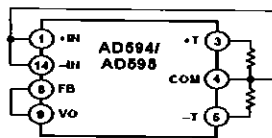


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

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:

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

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 k Ω . 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.

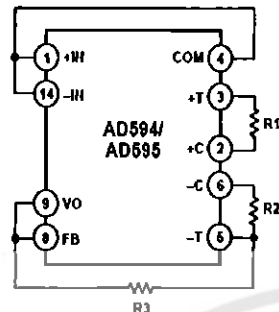


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650 Ω , 84 k Ω , 93 k Ω 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.

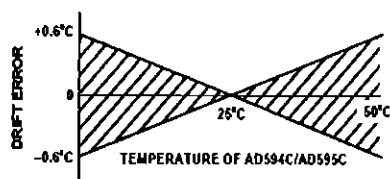


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

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 μ W 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.

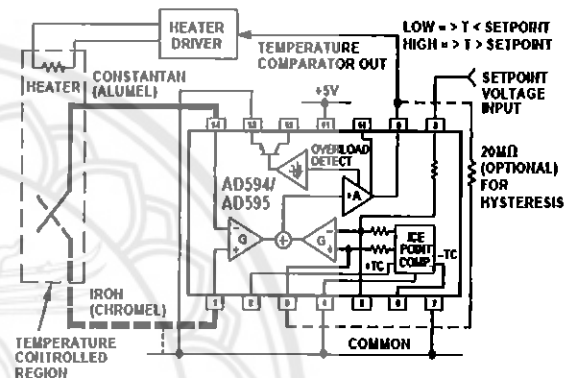


Figure 9. Setpoint Controller

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 1 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 M Ω resistor from VO 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 VO 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 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.

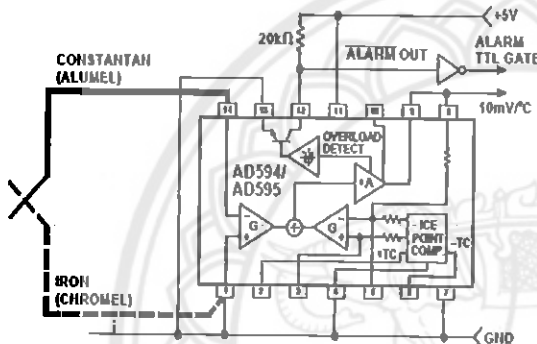


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

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.

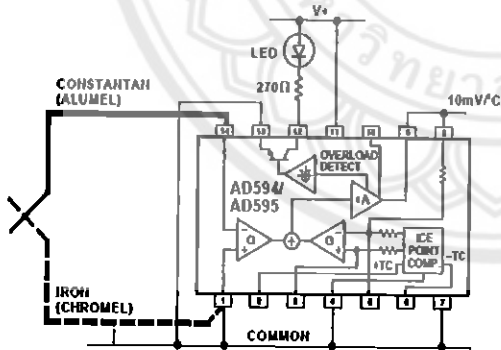


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

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.

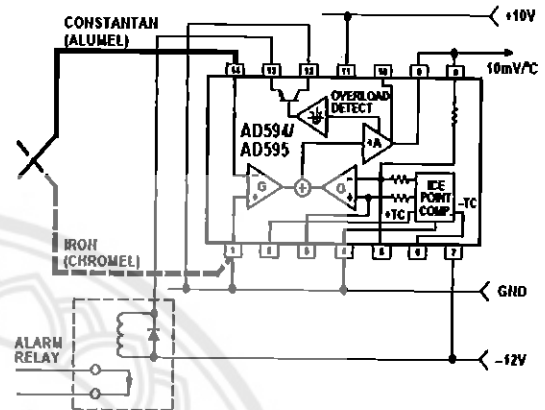


Figure 12. -ALM Driving A Negative Referenced Load

The collector (+ALM) should not be allowed to become more positive than (V-) +36 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.

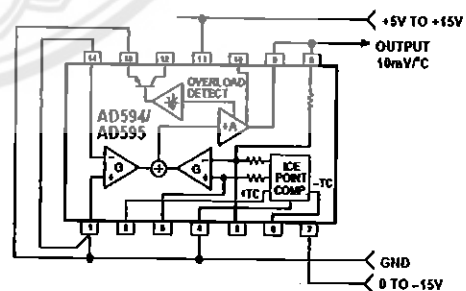


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

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.

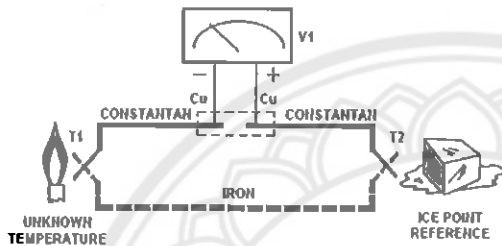


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

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.

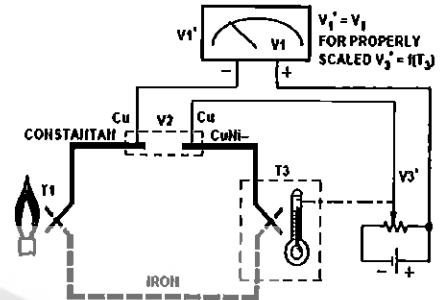


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

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.

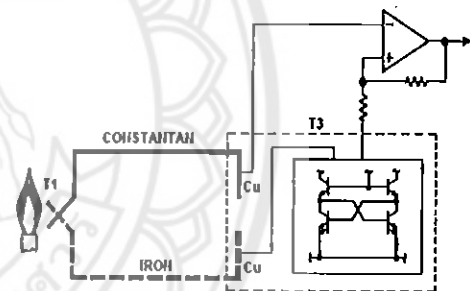


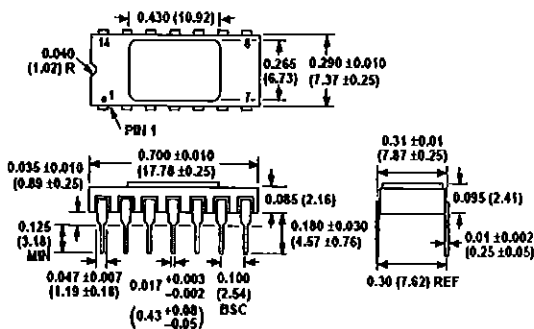
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

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.

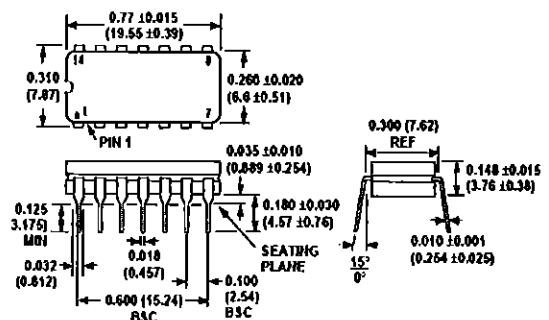
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

TO-116 (D) Package



Cerdip (Q) Package





ภาคผนวก ค

รายละเอียดบอร์ด อาร์ดูไอโน่ ดูเอมิลาร์นุฟ
(Arduino Duemilanove)

มหาวิทยาลัยนเรศวร



Arduino Duemilanove



Product Overview

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

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

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Arduino International Trademarks

Page 8



radiospares

RADIONICS





Technical Specification

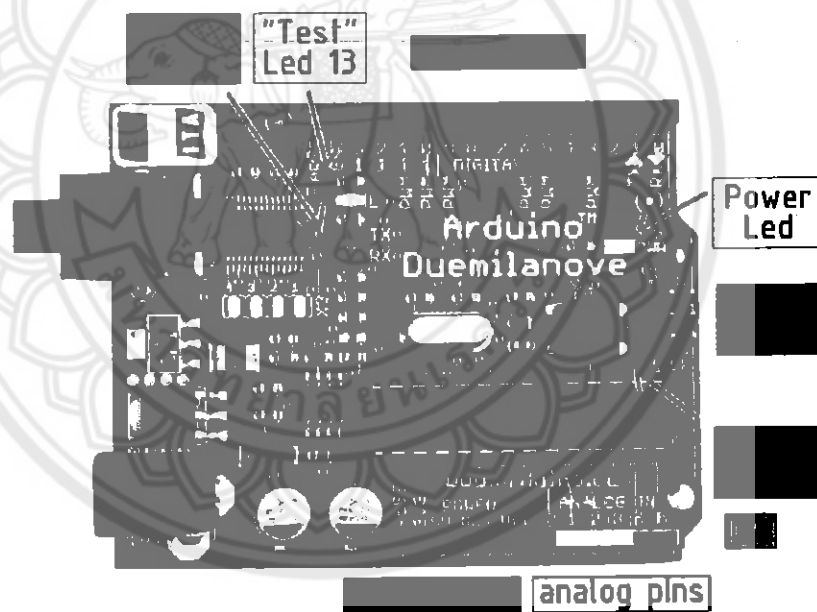


EAGLE files: [arduino-duemilanove-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-duemilanove-schematic.pdf](#)

Summary

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

the board



radiospares **RADIONICS**



Power

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

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

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

The power pins are as follows:

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

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The Atmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

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

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



radiospares

RADIONICS



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

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

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

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

Communication

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

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Duemilanove's digital pins.

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

Programming

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

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

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



radiospares RADIONICS





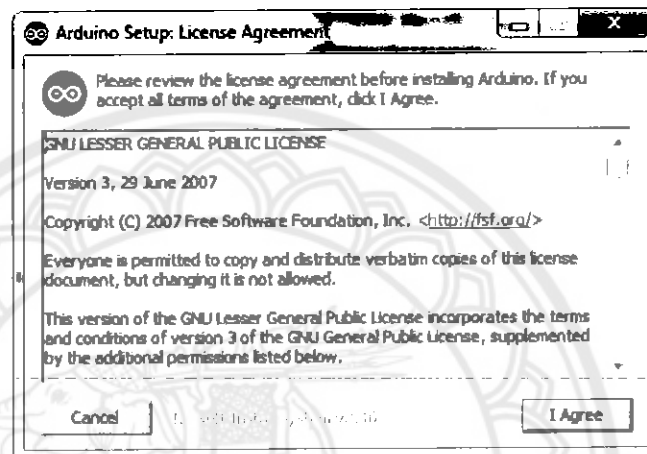
ภาคผนวก ง

การติดตั้งโปรแกรม อาร์ดูไอโน้ ดูเอมิลาร์นูฟ
(Arduino Duemilanove) เพื่อใช้งาน

การติดตั้งโปรแกรมอาร์ดูไอโน้ ดูเอมิลาร์นูฟ (Arduino Duemilanove)

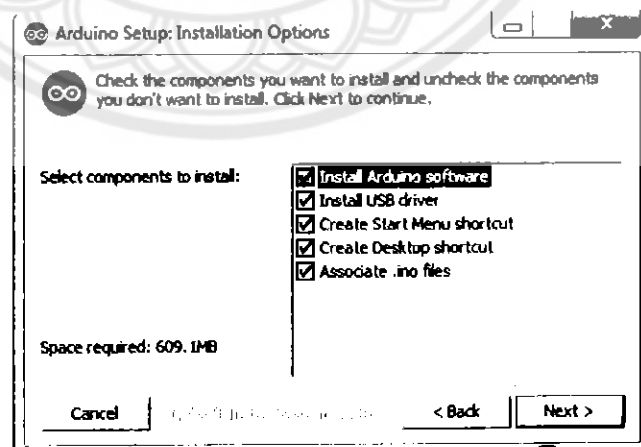
1. ติดตั้ง arduino-1.5.8-windows.exe เพื่อใช้เป็นตัวคอมไพเลอร์โปรแกรมเพื่อติดตั้ง

1.1 ทำการ run ไฟล์ arduino-1.5.8-windows.exe จะปรากฏหน้าต่าง ให้เลือก I Agree
ต้องการจะติดตั้ง (ตามรูปที่ 1)



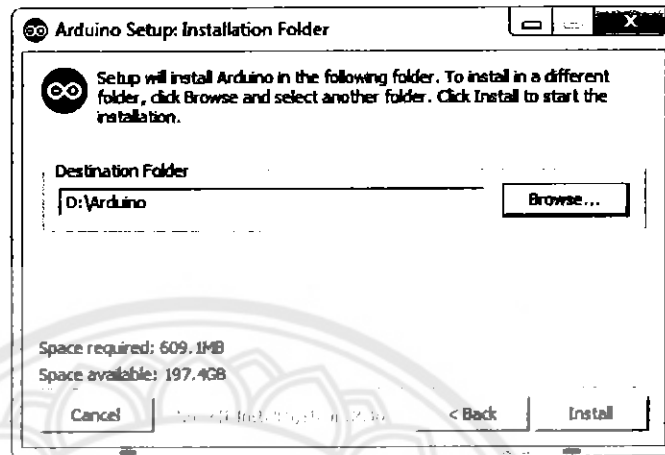
รูปที่ 1

1.2 จากนั้นกดปุ่ม Next (ตามรูปที่ 2)



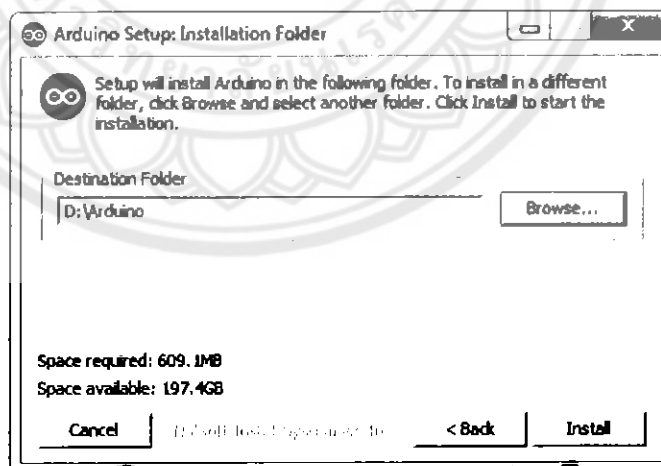
รูปที่ 2

1.3 จากนั้นจะขึ้นหน้าต่างเพื่อให้เลือกไดรฟ์ที่ต้องการติดตั้ง (ตามรูปที่ 3)



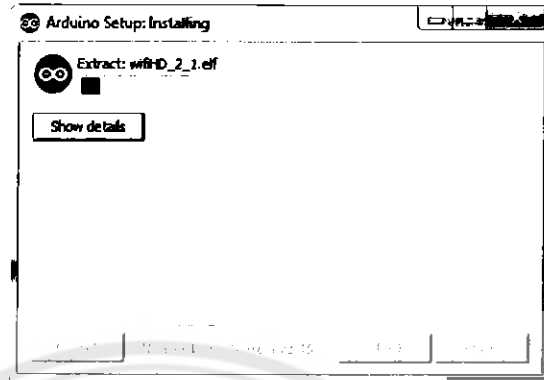
รูปที่ 3

1.4 จากนั้นกดปุ่ม Install เพื่อลงโปรแกรม (ตามรูปที่ 4)



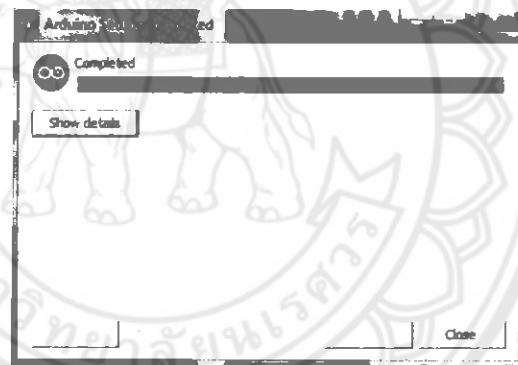
รูปที่ 4

1.5 พอโหลดเสร็จแล้วจะขึ้นหน้าจอ (ตามรูปที่ 5)



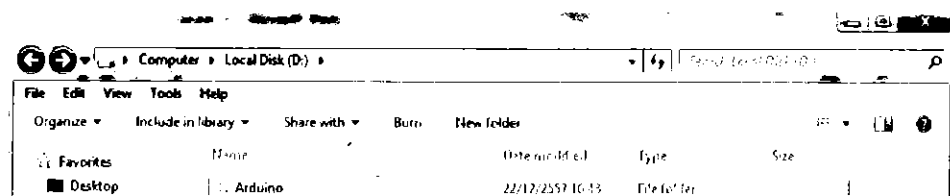
รูปที่ 5

1.6 กด Close เพื่อเสร็จสิ้นการลงโปรแกรม (ตามรูปที่ 6)



รูปที่ 6

1.7 จากโปรแกรมที่ลงจะอยู่ตามใครที่ที่ลงไว้ (ตามรูปที่ 7)



รูปที่ 7