

การวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสด้วยตัวตรวจอุณหภูมิแบบชนิดเค  
CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT WITH K TYPE  
THERMOCOUPLE SENSOR



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค  
CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT WITH K TYPE  
THERMOCOUPLE SENSOR



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT WITH K TYPE  
THERMOCOUPLE SENSOR



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT WITH K TYPE THERMOCOUPLE SENSOR	
Students	Miss Kanokwan Temthaisong	Student ID 54050476
	Miss Jeerawan Kruewong	Student ID 54050497
Degree	Bachelor of Science in Apply Physics	
Department	Physics	
Academic Year	2014	
Advisor	Assoc.Prof Wicharn Techitdheera	

### ABSTRACT

This project provides an equipment, temperature measurement. By using thermocouple type K. The principle of this type of sensor is the output voltage of sensor generate from the different temperature between measurement point ant reference point. The output voltage can be transmitted to a microcontroller. as analog voltage. And then convert to digital. The controller calculates from voltage to temperature value. And displayed on the LCD display .

**Keywords :** Microcontroller , Thermocouple k type

## กิตติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จของโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ร.ศ. วิชาญ เตชิตธีระ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ร.ศ. วิชิต ศิริโชติ ที่ได้ชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัย การช่วยเหลือแก้ไขในส่วนที่ไม่เข้าใจและคอยผลักดันให้งานได้ดำเนินต่อไปจนสำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เป็นกรรมการ คอยให้ความรู้และแนะนำข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อที่จะนำไปแก้ไขให้ดีขึ้น และขอขอบคุณร.ศ. วิชิต ศิริโชติ ดร.อภาภรณ์ สุกุลภาวะเวก ดร.กัญญา ปัญญา สุวรรณสุขโข อาจารย์สาโรจน์ ชูอำไพ ที่ได้ให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณงานวิจัยและเอกสารอ้างอิง และทำการศึกษา จนทำให้เกิดความสนใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคาดว่ารายงานโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจด้านการวัดอุณหภูมิโดยใช้คอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม

ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆคณะวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนการช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือและให้คำแนะนำ รวมถึงบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงานฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวกนกวรรณ เต็มไธสงค์  
นางสาวจิรวรรณ เครือวงศ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์	
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนในงานวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ความร้อนและการถ่ายโอนความร้อน	3
2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)	3
2.1.2 การพาความร้อน (Convection)	4
2.1.3 การแผ่รังสี (Radiation)	4
2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	6
2.2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเทอร์โมคัปเปิล	6
2.2.2 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)	7
2.2.3 กฎการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	9
2.2.4 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	9
2.2.5 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	10
2.3 ระบบสัญญาณและการแปลง	13
2.3.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	13
2.3.2 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล 10 บิตของ ATmega168	14
2.4 Microcontroller	15
2.4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY168 STAMP	16
2.4.3 โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino	18

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.3.1 โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino	18
2.5 หลักการทำงานของ LCD Module	20
2.5.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD	20
2.5.2 การควบคุมการแสดงผลของ LCD	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 อุปกรณ์	23
3.2 วิธีการดำเนินงาน	25
3.2.1 วงจรการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยเขียนเป็น Schematic	26
3.2.2 การเขียน Layout ในโปรแกรม eagle	26
3.2.3 การเขียนลายกัดปรินต์ ในโปรแกรม eagle	27
3.2.4 การประกอบเครื่องมือ	27
<b>บทที่ 4 ผลงานวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 บทนำ	30
4.2 การทดลองและผลการทดลอง	30
4.2.1 การทดลองวัดอุณหภูมิเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า	30
4.2.2 การทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำในการทำงานของ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส	34
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	37
4.3.1 การวิเคราะห์ผล	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบและแนวทางแก้ไข	40
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	
ภาคผนวก จ	

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
2.1 แสดงย่านอนุกรมและแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด	7
2.2 แสดงการจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP	20
2.3 ตารางแสดง Pin No. ของ LCD Module	21
4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ( ครั้งที่ 1 )	31
4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ( ครั้งที่ 2 )	32
4.3 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ( ครั้งที่ 3 )	33
4.4 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับ เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 1 )	34
4.5 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับ เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 2 )	35
4.6 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับ เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 3 )	36
4.7 แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลอง Error และ Accuracy ในย่านอนุกรมต่างๆ	37
4.8 แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลอง Precision ในย่านอนุกรมต่างๆ	38

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงปรากฏการณ์ของซีแบ็ค	1
2.1 แสดงการนำความร้อนจากโลหะมาสู่มือ	3
2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลของโลหะ	3
2.3 แสดงลักษณะของการพาความร้อน	4
2.4 แสดงลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานจริง	6
2.5 แสดงวงจรพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล	6
2.6 แสดงผลของซีแบ็ค	8
2.7 แสดงผลของเพลเทียร์	8
2.8 แสดงรูปของกฎของโลหะแทรก	9
2.9 แสดงรูปของกฎของอุณหภูมิแทรก	9
2.10 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	10
2.11 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่างๆ	11
2.12 แสดงกราฟลักษณะสัญญาณ Analog และ Digital ตามลำดับ	13
2.13 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล	14
2.14 แสดงจอ LCD 16x2 Character (Parallel)	20
2.15 แสดงด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel)	20
3.1 แสดงวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ	23
3.2 แสดงแหล่งจ่าย +5 Volt	23
3.3 แสดงตัววัดแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิ	24
3.4 แสดงรูปเทอร์โมคัปเปิล	24
3.5 แสดงรูปภาพคอมพิวเตอร์	24
3.6 แสดงรูป Heater	25
3.7 แสดงเทอร์มิสเตอร์รุ่น GTH1170	25
3.8 แสดงการเขียน Schematic ในวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ	26
3.9 แสดงการเขียนวงจรในโปรแกรม eagle	26
3.10 แสดงลายวงจรที่จะนำมากัดปริ้นในแผ่นทองแดง	27
3.11 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัว	27
3.12 แสดงตัวอุปกรณ์ใส่ลงในกล่อง	28
3.13 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์	28
3.14 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Arduino	28
3.15 แสดงเครื่องมือที่สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์รุ่น GTH1170	29
4.1 แสดงการวัดอุณหภูมิ	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

รายงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการหลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ดังรูปที่ 1.1 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ของซีแบ็คดังกล่าว สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิลขึ้น



รูปที่ 1.1 แสดงปรากฏการณ์ของซีแบ็ค

### 1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
- 1.2.2 เพื่อสร้างตัวตรวจวัดเทอร์โมคัปเปิล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรม controller

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

เครื่องตรวจวัดเทอร์โมคัปเปิลเป็นแบบชนิด K วัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิห้อง  $- 300\text{ }^{\circ}\text{C}$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางผู้จัดทำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนในงานวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
สิงหาคม - กันยายน	ศึกษาหลักการการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
กันยายน - ตุลาคม	ศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
ตุลาคม - พฤศจิกายน	ทำการทดลอง
ธันวาคม - มกราคม	เตรียมนำเสนอความคืบหน้าครั้งที่ 1
มกราคม - กุมภาพันธ์	ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมวงจร
กุมภาพันธ์	สร้างเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล
กุมภาพันธ์ - มีนาคม	นำเครื่องตรวจวัดเทอร์โมคัปเปิลที่สร้างขึ้นมาทดสอบและแก้ไขจุดบกพร่อง
มีนาคม	ออกแบบกล่องวงจร
มีนาคม - เมษายน	ทำการทดลองเพื่อบันทึกผล
4 พฤษภาคม - 13 พฤษภาคม	เตรียมนำเสนอความคืบหน้าครั้งที่ 2

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล และนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความร้อนและการถ่ายโอนความร้อน [1]

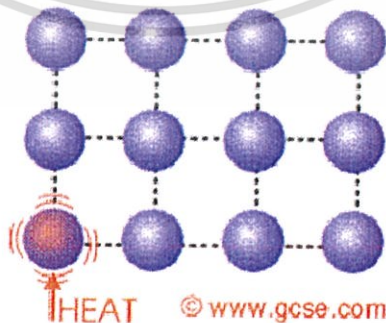
ความร้อนมีการถ่ายโอนได้ในบริเวณที่สัมผัสกัน ถ้าอุณหภูมิของบริเวณที่สัมผัสต่างกัน จะมีการถ่ายโอนความร้อนให้แก่กันจนอุณหภูมิคงที่ วัตถุต่างๆ ถ่ายโอนความร้อนได้ดีไม่เท่ากัน วัตถุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายโอนผ่านได้ดีเรียกว่า ตัวนำความร้อน วัตถุที่ความร้อนไม่สามารถถ่ายโอนผ่านไปได้อธิบายว่าถ่ายโอนผ่านได้ไม่ดี เรียกว่า ฉนวนความร้อน การถ่ายโอนความร้อนมีด้วยกัน 3 แบบได้แก่

#### 2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น หากเราจับที่พื้ในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านที่พื้มายังมือของเรา ดังรูปที่ 2.1 ทำให้เรารู้สึกร้อน โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี อโลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลของโลหะ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงการนำความร้อนจากโลหะมาสู่มือ



รูปที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ส่วนของแข็งนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนจึงมักเกิดขึ้นในบรรยากาศ และมหาสมุทร รวมทั้งภายในโลก และดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของวัฏจักรการพาความร้อน การแผ่รังสีจากกองไฟทำให้เกิดความร้อนที่ก้นหม้อน้ำด้านนอก โลหะทำให้เกิดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในหม้อ ทำให้น้ำที่อยู่เบื้องล่างร้อนและขยายตัว ความหนาแน่นต่ำจึงลอยขึ้นสู่ข้างบน ทำให้น้ำเย็นความหนาแน่นสูงซึ่งอยู่ด้านบนเคลื่อนตัวลงมาแทนที่ เมื่อน้ำเย็นที่เคลื่อนลงมาได้รับความร้อนเบื้องล่าง ก็จะลอยขึ้นหมุนวนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป ซึ่งเรียกว่า “วัฏจักรการพาความร้อน” (Convection circulation)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของการพาความร้อน

## 2.1.3 การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-273^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว

รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ ดังนั้นก่อนที่เราจะรู้จักกับรังสียูวี เราจึงควรทำความเข้าใจเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากันก่อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการแกว่งเป็นคาบ (Oscillation) ของอิเล็กตรอนในอะตอมของสสาร การแกว่งเป็นคาบดังกล่าวของอิเล็กตรอนก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นแผ่กระจายออกไปรอบจุดกำเนิดทุกทิศทุกทาง เปรียบเทียบแล้วก็คล้ายกับการที่เราโยนก้อนหินลงไปในบ่อน้ำจุดที่ก้อนหินกระทบน้ำจะเป็นจุดกำเนิดคลื่นน้ำซึ่งเราจะเห็นเป็นคลื่นแผ่กระจายออกเป็นวงกว้าง จนกว่าจะหมดพลังงานซึ่งคลื่นก็จะหายไป สิ่งที่แตกต่างกันก็คือคลื่นน้ำจะปรากฏอยู่ในระนาบของผิวน้ำหรืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสองมิติเท่านั้น ในขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่กระจายออกไปโดยรอบจุดกำเนิดหรืออยู่ในสามมิติ

เราแบ่งชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกตามความยาวของคลื่น เมื่อพูดถึงความยาวคลื่น ขอให้เรลองนึกถึงคลื่นน้ำซึ่งเมื่อมองทางภาคตัดขวางจะเห็นเป็นลอน เราเรียกจุดสูงสุดของลอนว่าสันคลื่น และเรียกจุดต่ำสุดของลอนว่าท้องคลื่น ระยะทางระหว่างสันคลื่นสองสันคลื่น (หรือท้องคลื่นสองท้องคลื่น) ที่อยู่ชิดกันคือสิ่งที่เราเรียกว่าความยาวคลื่น

เมื่อเราจัดแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกตามความยาวของคลื่นเราก็สามารถแสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดได้บนเส้นตรงในลักษณะเป็นแถบของความยาวคลื่นโดยให้ความยาวคลื่นที่มีขนาดสั้นอยู่ทางด้านซ้ายของเส้นตรงและเพิ่มขนาดความยาวคลื่นออกไปทางขวาของเส้นตรงนั้นซึ่งจะทำให้เราเห็นภาพรวมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในลักษณะเป็นแถบจากซ้ายไปขวาตามความยาวของคลื่นที่เพิ่มขึ้น แถบความยาวคลื่นเช่นนี้เราเรียกว่า สเปกตรัม (spectrum)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ทางซ้ายสุดของสเปกตรัมคือรังสีคอสมิก (Cosmic Ray) ช่วงแถบความยาวคลื่นที่อยู่ถัดไปทางขวาของกลุ่มรังสีคอสมิกคือพวกกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Ray) แถบต่อมาที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นคือรังสีเอ็กซ์ (X-Ray) ต่อจากนั้นคือแถบรังสียูวีซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 380 นาโนเมตร ต่อจากแถบรังสียูวีคือแสงสีต่าง ๆ ที่สายตามนุษย์มองเห็น (ความยาวคลื่น 380 ถึง 780 นาโนเมตร) เลยจากนี้ไปคือแถบรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray) ซึ่งเป็นคลื่นความร้อน แถบรังสีต่อไปคือคลื่นวิทยุซึ่งเริ่มตั้งแต่คลื่นไมโครเวฟไปจนถึงวิทยุคลื่นสั้นและคลื่นยาวตามลำดับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีความเร็วในสุญญากาศเท่ากันคือประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที รังสียูวี (Ultra Violet Ray) นั้นแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ

1. รังสี UV-A ความยาวคลื่นระหว่าง 315 ถึง 380 นาโนเมตร

รังสีความยาวคลื่นช่วงนี้ในแสงแดดมีผลทำให้ผิวหนังกลายเป็นสีน้ำตาลที่เรียกว่าสี Tan ซึ่งนักอาบแดดชาวตะวันตกนิยมกัน เป็นรังสีที่ยังไม่ถึงขั้นเป็นอันตรายต่อมนุษย์มากนัก

2. รังสี UV-B ความยาวคลื่นระหว่าง 280 ถึง 315 นาโนเมตร

เริ่มเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น ทำให้ผิวหนังไหม้ถึงขั้นอักเสบ ทำให้การมองเห็นหมดสมรรถภาพ เช่น สายตาได้รับแสงสะท้อนจ้ามากเกินไปจนทำให้เกิดอาการมองไม่เห็นชั่วคราวที่เรียกว่า Snow Blindness แต่ถ้าเป็นมาก ๆ ก็อาจทำให้ตาบอดได้ ซึ่งคนไทยอาจไม่มีประสบการณ์ในเรื่องเช่นนี้เพราะบ้านเราไม่มีหิมะตก

3. รังสี UV-C ความยาวคลื่นระหว่าง 200 ถึง 280 นาโนเมตร

เป็นรังสีที่มีอันตรายมาก เช่น ทำให้ตาบอด ทำให้เป็นมะเร็งผิวหนัง ฯลฯ โชคดีที่ชั้นโอโซนซึ่งห่อหุ้มบรรยากาศของโลกช่วยตัดรังสียูวีกลุ่มนี้ไว้ได้เป็นส่วนมาก แต่เราก็ไม่ควรจะประมาท เพราะทุกวันนี้การกระทำของมนุษย์ต่อสิ่งแวดล้อมหลายอย่างไม่ว่าจะโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์หรือไม่ก็ทำตามที่มีส่วนทำให้ความคุ้มครองเช่นนี้จากชั้นโอโซนดังกล่าวลดน้อยลงไป

## 2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

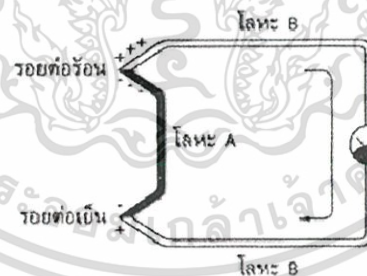
### 2.2.1. ความเป็นมาและความสำคัญของเทอร์โมคัปเปิล [2]

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานจริง

เทอร์โมคัปเปิลนั้น ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2364 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ โทมัสโจฮานน์ ซีเบค ( Thomas Johann Seebeck ) ได้ค้นพบว่า เมื่อต่อโลหะ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.5 ให้มีเทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล

แรงดันที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก โดยปกติจะมีค่าประมาณ 0.2 – 0.3 มิลลิโวลต์เท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่นำมาจับคู่ด้วย ได้มีผู้ทดลองจับคู่ชนิดต่างๆ เพื่อทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลสำหรับรายงานแต่ละแบบไว้หลายคู่ แต่ละคู่จะเรียกชื่อตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ดังที่กล่าวมาแล้ว Thermocouple ทำมาจากโลหะ 2 ชนิด ถ้าหากว่ามีการเปลี่ยนชนิดของโลหะด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้ง 2 ด้านให้ต่างชนิดกันไป ก็จะได้แรงดันที่ต่างกันไปแม้จะวัดในอุณหภูมิเดียวกันก็เกิดเป็น Thermocouple ต่างชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านอุณหภูมิและแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิ		แรงเคลื่อนไฟฟ้า (mV)
		°C	°F	
B	แพลทินัม-30 % โรเดียม / แพลทินัม-6 % โรเดียม	0 - 1820	32 - 3310	0 - 13.814
R	แพลทินัม / 13 % โรเดียม แพลทินัม	-50 - 1768	-60 - 3210	-2.26 - 21.108
S	แพลทินัม / 10 % โรเดียม แพลทินัม	-50 - 1768	-60 - 3210	0.236 - 18.698
J	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 - 760	-350 - 1400	-8.096 - 42.992
K	โครเมิล / อลูเมิล	-270 - 1372	-450 - 750	-6.458 - 54.872
T	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-270 - 400	-450 - 750	-6.258 - 20.869
E	โครเมิล / คอนสแตนแตน	-270 - 1000	-450 - 1830	-9.835 - 76.358

### 2.2.2. ปรากฏการณ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน(Thermoelectric Effect)[2]

ทฤษฎีพื้นฐานของปรากฏการณ์จากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่าอิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าโลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

#### 1.ปรากฏการณ์ของซีแบ็ค(Seebeck Effect)

โดยใช้ทฤษฎีโซลิตสเตต เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าว นั่นคือ

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \quad (2.1)$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีแบ็ค ซึ่งพบว่า

- 1.1.ค่าemf. ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
- 1.2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่าemf. ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
- 1.3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf. ก็จะเป็นศูนย์ โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

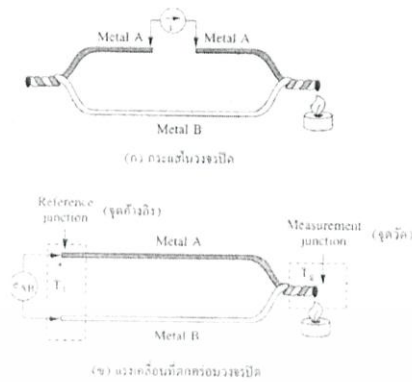
$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\alpha$  = ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีแบ็ค ; volts/K

$T_1, T_2$  = อุณหภูมิที่จุดต่อ ; K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.6 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ของซีแบ็คดังกล่าว

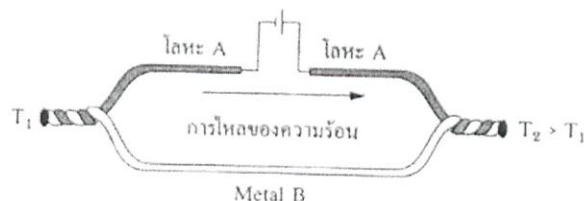


รูปที่ 2.6 แสดงปรากฏการณ์ของซีแบ็ค

การนำปรากฏการณ์ของซีแบ็คมาสร้างเทอร์โมมิเตอร์ โดยมีหัววัดอุณหภูมิหรือที่เรียกว่าเทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิล ทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันที่โครงสร้างของอะตอม)นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองชั้น จากสมการ (2.2) อธิบายปรากฏการณ์ของซีแบ็ค ซึ่งพบว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่เกิดจากความแตกต่างของ ค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิล ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์และถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ก็จะเป็นศูนย์

## 2. ปรากฏการณ์ของเพลเทียร์(Peltier Effects)

หากคิดย้อนกลับจากปรากฏการณ์ของซีแบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่ต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าหัวหนึ่งจะเกิดความร้อน ( $T_2$ )และอีกหัวหนึ่งจะเกิดความเย็น ( $T_1$ ) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ปรากฏการณ์ของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงปรากฏการณ์ของเพลเทียร์

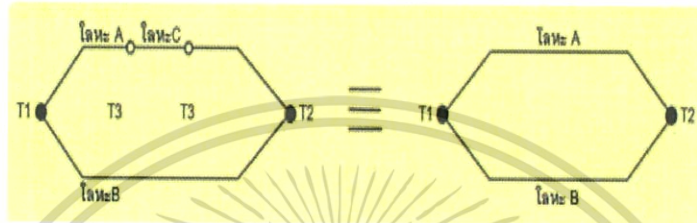
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. กฎการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล [3]

1. กฎของวงจรโลหะชนิดเดียว (Law of the Homogeneous Circuit)
 

ในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะชนิดเดียวกัน 2 เส้น ถึงแม้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้ง 2 ข้างจะไม่เท่ากัน ก็จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหล
2. กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals)
 

ถ้ามีโลหะแทรกอยู่ในส่วนหนึ่ง ส่วนใดของวงจร หากอุณหภูมิของจุดต่อที่ปลายโลหะแทรกทั้งสองเท่ากันแล้ว โลหะแทรกนี้จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงรูปของกฎของโลหะแทรก

3. กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลหลายชุดต่อกันโดยมีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลเหล่านั้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงรูปของกฎของอุณหภูมิแทรก

2.2.4 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples) [2]

1. ความไว (Sensitivity)

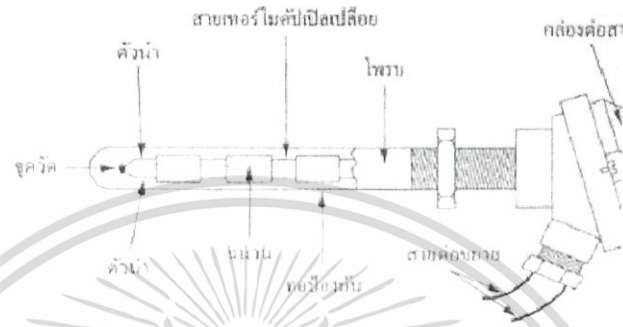
จากตารางแรงเคลื่อนไฟฟ้าแสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง (Construction)

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.10 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมคป์เปิดขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคป์เปิดวัดอุณหภูมิ ขนาดของสายเทอร์โมคป์เปิดกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์(microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคป์เปิด

### 3. ย่านการใช้งาน (Range)

ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคป์เปิด แต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

### 4. เวลาตอบสนอง (Time Response)

เวลาตอบสนองของเทอร์โมคป์เปิดขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคป์เปิด

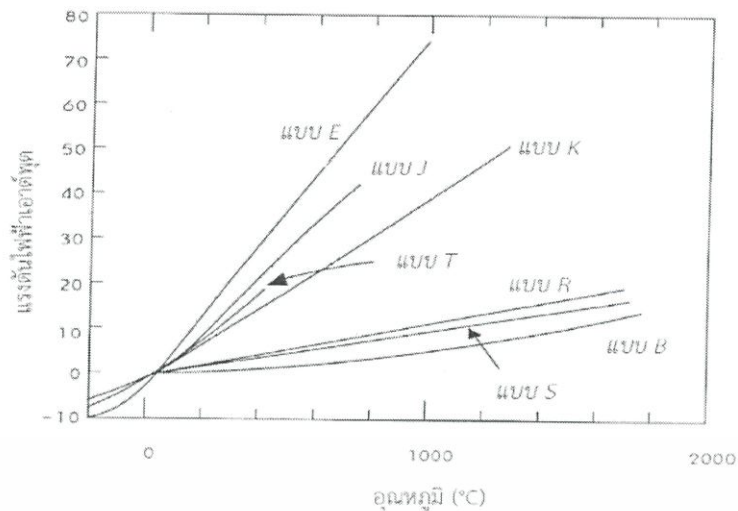
### 5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคป์เปิดจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

#### 2.2.5. การใช้งานเทอร์โมคป์เปิดมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type) [2]

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคป์เปิดมาตรฐานอยู่ 7 ชนิด ตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำดังรูป 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ

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

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ชั่วคราวระวางในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก(เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน ( curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง  $200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $600^{\circ}\text{C}$ ) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮีสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ  $1000^{\circ}\text{C}$  ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

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

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

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

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสี่สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,199(รหัสสี่ตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชดเชยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชดเชยสัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

1. เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
2. สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก  $-180^{\circ}\text{C}$  ถึงประมาณ  $1,350^{\circ}\text{C}$
3. สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
4. สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
5. ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

1. ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันโดยตรง
2. ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีไอของซัลเฟอร์
3. ไม่เหมาะกับการใช้งานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
4. หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

การชดเชยจุดอ้างอิง (Reference Compensation) [3]

เพราะว่าแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลมีค่าเป็นส่วนกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดวัดและอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ดังนั้นหากอุณหภูมิจุดอ้างอิงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะทำให้การวัดมีค่าผิดพลาดจึงต้องมีเทคนิคในการชดเชยอุณหภูมิอ้างอิงเพื่อให้คงที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบการชดเชยจุดอ้างอิงโดยใช้ไอซี AD595 ที่ทางผู้ผลิตออกแบบไอซีให้มีการชดเชยจุดอ้างอิงโดยมีตัววัดอุณหภูมิภายในตัวอุปกรณ์เองและสามารถใส่ ค่าความต้านทานประกอบกับอุปกรณ์เพื่อปรับค่าจากภายนอกอีกด้วยซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ได้ใส่ไว้ในภาคผนวกแล้ว

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้ชุดหัววัดเชื่อมต่อกับสัญญาณเข้ากับ microcontroller ทางพอร์ต USB (Universal serial bus) โดยสัญญาณที่แปลงเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลจากส่วนจัดการสัญญาณ(Signal conditioning) จะถูกส่งแบบอนุกรมเป็นการลดข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาต่อพ่วง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ระบบสัญญาณและการแปลง [4]

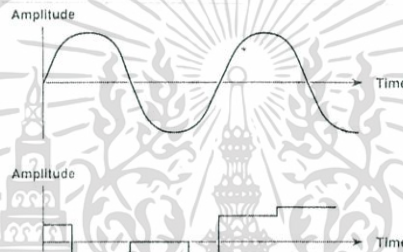
การสื่อสารข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทุกประเภท ประกอบด้วย เสียง (Voice) อักษรข้อความ (Text), ภาพ (Image) และข้อมูลคอมพิวเตอร์ (Data) ซึ่งแต่ละข้อมูล มีลักษณะเฉพาะของสัญญาณที่แตกต่างกัน แบ่งการกระทำของข้อมูลดังนี้

### 1. Analog Computer

สัญญาณอนาลอกคือ สัญญาณข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) มีขนาดของสัญญาณไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณแบบค่อยเป็นค่อยไปแปรผันตามเวลา เป็นสัญญาณที่มนุษย์สามารถสัมผัสได้ ดังรูปที่ 2.12 เช่น แรงดันของน้ำ

### 2. Digital Computer

สัญญาณดิจิทัล คือ สัญญาณข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) มีขนาดของสัญญาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเป็นแบบทันที ทันใด ไม่แปรผันตามเวลา เป็นสัญญาณที่มนุษย์ไม่สามารถสัมผัสได้ ดังรูปที่ 2.12 เช่น สัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 แสดงกราฟลักษณะสัญญาณ Analog และ Digital ตามลำดับ

### 2.3.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

Analog to Digital Converter (A/D) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่มีมนุษย์รับรู้สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในสถานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์

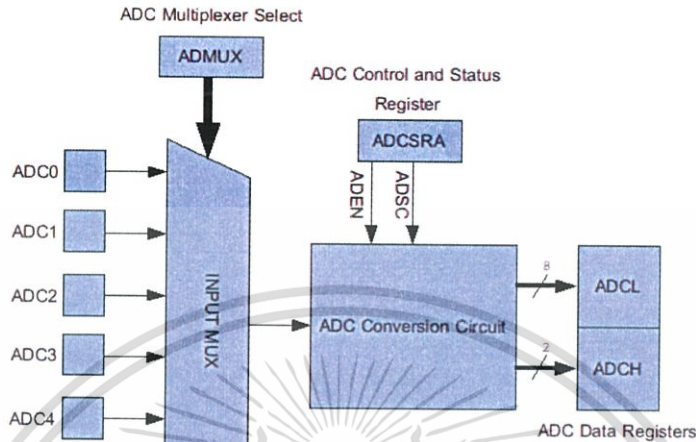
วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D converters) มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

1. Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
2. Single – Ramp หรือ Single – Slope A/D converter
3. Dual – Slope A/D converter
4. Charge balance A/D converter
5. A/D converters using Counters and D/A converters
6. Tracking A/D converters
7. Successive – Approximation A/D converters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2. แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล 10 บิตของ ATmega168 [5]

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega168 รุ่นที่เป็นขา DIP 28 ขานั้นสามารถประมวลผลอินพุตที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกผ่านทางขา ADC0 ถึง ADC5 (ซึ่งคือขา PC0 ถึง PC5) เท่านั้น กระบวนการทำงานของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัลเป็นดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล

ภายในชิป ATmega168 นั้นจะมีมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพียงแค่ชุดเดียว ดังนั้นกระบวนการเรียกใช้งานจึงมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าให้กับมัลติเพล็กซ์เซอร์ในชิปว่าต้องการดึงสัญญาณอินพุตจากขาใด (ADC0..ADC5) มาป้อนเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณฯ ค่าดังกล่าวต้องถูกเซตให้กับบิต 3..0 ของรีจิสเตอร์ ADMUX
2. สั่งเปิดการใช้งานวงจรแปลงสัญญาณฯ โดยส่งลอจิก 1 ไปที่บิต ADEN (ADC Enable - บิต 7) ของรีจิสเตอร์ ADCSRA
3. สั่งให้วงจรแปลงสัญญาณฯ เริ่มกระบวนการแปลง โดยส่งลอจิก 1 ไปที่บิต ADSC (ADC Start Conversion - บิต 6) ของรีจิสเตอร์ ADCSRA
4. รอจนกระทั่งบิต ADSC มีค่าเป็นลอจิกศูนย์ นั้นหมายถึงกระบวนการแปลงได้เสร็จสิ้นแล้ว
5. ผลลัพธ์ของการแปลงจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ ADCL (8 บิตต่ำ) และ ADCH (8 บิตสูง) เพื่อให้การอ่านค่าเป็นไปได้อย่างถูกต้องตามกลไกของไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าในรีจิสเตอร์ ADCL ต้องถูกอ่านออกมาก่อน ADCH

ค่าที่ได้จากการแปลงจะเป็นตามสูตร

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{ref}} \quad (2.3)$$

โดย  $V_{in}$  คือแรงดันที่ขาแอนะล็อกอินพุตที่ถูกเลือก ส่วน  $V_{ref}$  คือแรงดันอ้างอิง ซึ่งเราสามารถเลือกแหล่งแรงดันได้โดยการตั้งค่าที่บิต 6 และ 7 ของรีจิสเตอร์ ADMUX ตัวอย่างฟังก์ชันด้านล่างมีการตั้งแหล่งแรงดันอ้างอิงให้เป็นแรงดันที่ขา AREF ซึ่งต่อเข้ากับ VCC จึงมีแรงดันเท่ากับ 5 โวลต์

## 2.4 Microcontroller [6]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือไมโคร ( Micro ) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ ( controller ) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคยกล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู , หน่วยความจำ และพอร์ตซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกันโดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน สาเหตุหลักที่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็คือนักออกแบบ พัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดจนนักประดิษฐ์ทั้งหลายต่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยที่จะต้องอาศัยวงจรอิเล็คทรอนิกส์เข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมแต่ครั้งวงจรอิเล็คทรอนิกส์ที่นำมาต่ออนุกรมเพื่อความสามารถที่เราต้องการนั้นก็ใหญ่โตเสียเหลือเกินดูเหมือนจะขัดแย้งกับความต้องการของผู้บริโภค และหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อรองรับกับความต้องการนำไปควบคุมระบบที่ความสามารถที่เราต้องการโดยให้มีขนาดเล็กที่สุดแต่มีใช้เพียงแต่ขนาดเล็กเท่านั้นมันยังสามารถป้อนชุดคำสั่งให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติด้วยรูปแบบการเขียนโปรแกรมภาษาต่างๆ ตามความถนัด

### 2.4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ ( Memory ) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก ( Program Memory ) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล ( Data Memory ) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียูและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Mempry) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต ( Port ) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต ( Input Port ) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต ( Output Port ) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส ( BUS ) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ตเป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล ( Data Bus ) , บัสแอดเดรส ( Address Bus ) และบัสควบคุม ( Control Bus ) บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลเพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับการประมวลผลของซีพียูสำหรับในงานต่างๆ ไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิตและในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16,32 และ 64 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำโดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อนดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมาก ยิ่งมากเท่าไร ก็จะเป็นการแสดงความขนาดของหน่วยความจำที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำ = 2 ยกกำลัง n ( n คือจำนวนของเส้นทาง )

ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ 2 ยกกำลัง 10 = 1,024 ตำแหน่ง หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆจะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าใด หากเป็น 8 บิตความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้น จะเท่ากับ  $8 \times 1024 = 8,192$  บิต และ 1 กิโลไบต์ เท่ากับ 1,024 ไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวจึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิต หรือ 1,024 ไบต์ หรือ 1 กิโลไบต์ บัสควบคุมเป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ตสำหรับสายสัญญาณเลือกควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือก-อ่าน-เขียน หน่วยความจำสายสัญญาณเลือกเลือกอ่าน-เขียน ข้อมูล กับพอร์ต

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการทำงานกำหนดจังหวะหากสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

#### 2.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY168 STAMP [7]

ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว โดยมีขนาดของบอร์ดเพียง 2cm x 5cm เท่านั้น ซึ่งขนาดบอร์ด ประมาณเท่ากับตัวถังของไอซี 28 DIP 300 โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้ MCU ที่มีรูปร่างตัวถังแบบ 32 TQFP พร้อมวงจรอบนอกที่จำเป็นอย่าง Oscillator และ Reset รวมไว้ด้วยภายในบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรงทำให้บอร์ด ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดทดลองขนาดเล็กที่เพียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 อย่างแท้จริง เพียงแต่เสียบสาย USB จากพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว USB ของบอร์ด ET-EASY168 STAMP ก็สามารถทำการเขียนโปรแกรม และ Download Code ให้กับ MCU เพื่อทำการทดลองได้ทันที

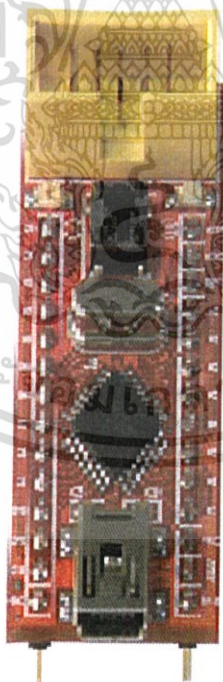
##### คุณสมบัติของบอร์ด

- 1.เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
- 1.1 มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16KByte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
- 1.2 มี SRAM ใช้งานขนาด 1KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
- 1.3 มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
- 2.Digital GPIO จำนวน 14 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 8 ช่อง
4. ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USB และจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
5. มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
6. ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54mm(100mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ 14Pin) ระยะห่าง 600mil(1.5cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และ ขยายวงจร I/O สามารถใช้กับ Project Board และ PCB เอนกประสงค์ได้โดยง่าย
7. มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
8. มีขั้ว AVRISP แบบ IDE 10PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ดในกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
9. มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

AVR	Arduino	Pin	ET-EASY168 STAMP	Pin	Arduino	AVR
PD0	Digital-0	1		28	+5V(+Vin)	+5V(+Vin)
PD1	Digital-1	2		27	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PD2	Digital-2	3		26	RESET#	RESET(PC6)
PD3	Digital-3	4		25	Analog-0	PC0/ADC0
PD4	Digital-4	5		24	Analog-1	PC1/ADC1
PD5	Digital-5	6		23	Analog-2	PC2/ADC2
PD6	Digital-6	7		22	Analog-3	PC3/ADC3
PD7	Digital-7	8		21	Analog-4	PC4/ADC4
PB0	Digital-8	9		20	Analog-5	PC5/ADC5
PB1	Digital-9	10		19	Analog-6	ADC6
PB2	Digital-10	11		18	Analog-7	ADC7
PB3	Digital-11	12		17	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PB4	Digital-12	13		16	+AREF	+AREF
GND	GND	14		15	Digital-13	PB5

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “Arduino Project”

1. +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา +VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
  3. +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
  4. RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”
  5. Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
  6. Analog[0..7] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V
- การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

ในการพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP นั้น ผู้ใช้สามารถเลือกใช้วิธีการพัฒนาโปรแกรมได้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

#### 1. AVR Micro Controller

เป็นการพัฒนาโปรแกรมตามรูปแบบของ AVR Micro Controller ปรกติซึ่งสามารถเลือกใช้โปรแกรมภาษาใดๆก็ได้ที่รองรับการใช้งานร่วมกับ AVR เบอร์ ATmega168 ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้โปรแกรมในการพัฒนาได้ตามความถนัด เช่น ภาษาเบสิก BASCOM-AVR หรือ ภาษาซี เช่น Code Vision และ WinAVR เป็นต้น

#### 2. Arduino Project

เป็นการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมและชุดคำสั่งในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี (C++) ของ “Arduino Project” ซึ่งเป็นโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR แบบ Open Source ซึ่งกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นโครงการที่เปิดเผยทั้ง Source Code ในการพัฒนาให้ทั้งหมดและยังมีตัวอย่างโครงงานพร้อมตัวอย่างโปรแกรมการทดลอง ต่างๆแจกจ่ายให้ผู้สนใจนำมาใช้ศึกษา เรียนรู้และทดลองได้ฟรี โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ผู้สนใจสามารถเข้าไปค้นหารายละเอียดต่างๆของ Arduino Project นี้ได้ <http://www.arduino.cc/>

### 2.4.3. โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino [8]

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด จะต้องเขียนโปรแกรมโดยใช้ ภาษาของ Arduino (Arduino programming language) ซึ่งตัวภาษาของ Arduino เองก็ นำเอาโอเพ่นซอร์สโปรเจกต์ชื่อ wiring มาพัฒนาต่อภาษาของ Arduino แบ่งได้ เป็น 2 ส่วนหลักคือ

1. โครงสร้างภาษา (structure) ตัวแปรและค่าคงที่
2. ฟังก์ชัน (function)

ภาษาของ Arduino จะอ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino ก็ คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ ฟังก์ชันและไลบรารีที่ทาง Arduino ได้เตรียมไว้ให้แล้วซึ่งสะดวก และทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้โดยจะอธิบายถึงโครงสร้างโปรแกรมของ Arduino สำหรับผู้อ่านที่มีพื้นฐานความรู้ เกี่ยวกับภาษา C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.1. โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino

โปรแกรมของ Arduino แบ่งได้เป็นสองส่วนคือ void setup() และ void loop() โดยฟังก์ชัน setup() เมื่อโปรแกรมทำงานจะทำคำสั่งของฟังก์ชันนี้เพียงครั้งเดียว ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน ส่วนฟังก์ชัน loop() เป็นส่วนทำงานโปรแกรมจะทำคำสั่งในฟังก์ชันนั้นต่อเนื่องกันตลอดเวลา โดยปกติใช้กำหนดโหมดการทำงานของขาต่างๆ กำหนดการ สื่อสารแบบอนุกรม ฯลฯ ส่วนของ loop() เป็นโค้ดโปรแกรมที่ทำงาน เช่น อ่านค่าอินพุต ประมวลผลส่งงาน เอาต์พุต ฯลฯ โดยส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเช่นตัวแปรจะต้องเขียนที่ส่วนหัวของโปรแกรมก่อนถึงตัวฟังก์ชัน นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงตัวพิมพ์ เล็ก-ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อ ฟังก์ชันให้ถูกต้อง

1. ส่วนของฟังก์ชัน setup()

ฟังก์ชันนี้จะเขียนที่ส่วนต้นของโปรแกรม ทำงานเมื่อโปรแกรมเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว ใช้ เพื่อกำหนดค่าของตัวแปร โหมดการทำงานของขาต่างๆ เริ่มต้นเรียกใช้ ไบบรารี ฯลฯ

ตัวอย่างที่ 1

```
int buttonPin = 31;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}
void loop()
{
  if (digitalRead(buttonPin) == HIGH)
    Serial.println('H');
  else
    Serial.println('L');
  delay(1000);
}
```

#### 2. ส่วนของฟังก์ชัน loop()

หลังจากที่เขียนฟังก์ชัน setup() ที่กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมแล้ว ส่วนถัดมาคือฟังก์ชัน loop() ซึ่งมีการทำงานตรงตามชื่อคือ จะทำงานตามฟังก์ชัน นั้นวนต่อเนื่องตลอดเวลา ภายในฟังก์ชันนั้นจะมีโปรแกรมของผู้ใช้เพื่อรับค่าจากพอร์ต ประมวลผล แล้วส่งเอาต์พุตออกขาต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด

#### ตัวอย่างที่ 2

```
int buttonPin = 31;
// setup initializes serial and the button pin
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 หลักการทำงานของ LCD Module [9]

### 2.5.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใส เพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบเรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน คือ

#### 1. แบบใช้การสะท้อนแสง ( Reflective Mode ) LCD

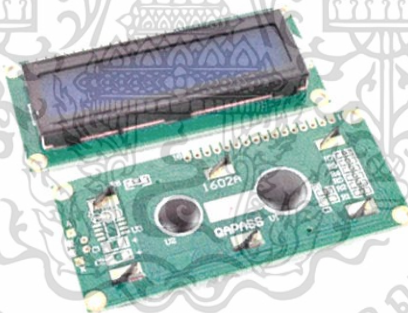
แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ

#### 2. แบบใช้การส่องผ่าน ( Transitive Mode ) LCD

แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำให้ชัดเจน

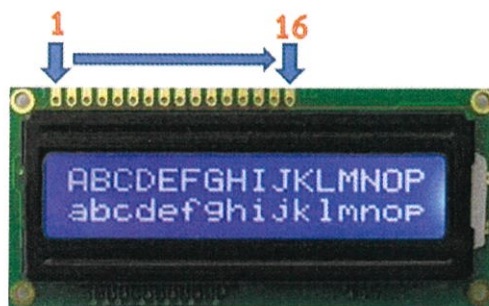
#### 3. แบบส่องผ่านและแบบสะท้อน ( Transflective Mode ) LCD

แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบรวมกัน



รูปที่ 2.14 แสดงจอ LCD 16x2 Character (Parallel)

แบบ Parallel มี 16 ขา ที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 2.15 แสดงด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดง Pin No. ของ LCD Module

Pin No.	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VDC
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pin 8-Bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LCD+) เป็นขา Vcc สำหรับ LED backlight (5V)
16	K	(LCD+) เป็นขา Gnd สำหรับ LED backlight (Gnd)

### 2.5.2 การควบคุมการแสดงผลของ LCD

ในการควบคุมหรือสั่งงาน ตัวจอ LCD นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่าน Controller ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร และขาในการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับ Microcontroller มีดังนี้

1. GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
  2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD ขนาด +5VDC
  3. VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
  4. RS ใช้บอกให้ LCD Controller ทราบว่า Code ที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
  5. R/W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD Controller
  6. E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับ LCD Controller
  - 7-14. DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับ LCD Controller
- วิธีการสั่งงานจะแตกต่างกันไป โดย LCD Controller สามารถรับรหัสคำสั่งจาก Microcontroller ได้จากสัญญาณ RS R/W และ DB0-DB7 ในขณะที่สัญญาณ E มีค่า Logic เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“1” ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะใช้ร่วมกันเพื่อกำหนดเป็นรหัสคำสั่งสำหรับสั่งงาน LCD โดยหน้าที่ของแต่ละสัญญาณพอสรุปได้ดังนี้

- E เป็นสัญญาณ Enable เมื่อมีค่าเป็น

“1” เป็นการบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่ออ่านหรือเขียนข้อมูล

“0” ให้ LCD ไม่สนใจสัญญาณ RS R/W และ DB7-DB0

- RS เป็นสัญญาณสำหรับกำหนดให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ LCD ในขณะนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้า

RS = “0” หมายถึง คำสั่ง

RS = “1” หมายถึง ข้อมูล

- R/W เป็นสัญญาณสำหรับบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการอ่านหรือเขียนกับ LCD โดยถ้า

R/W = “0” หมายถึง เขียน

R/W = “1” หมายถึง อ่าน

- DB0-DB7 เป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง โดยจะสัมพันธ์กับสัญญาณ R/W ใช้สำหรับรับส่ง คำสั่งและข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก โดยถ้า R/W = “0” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจากอุปกรณ์ภายนอกมาที่ LCD แต่ถ้า R/W = “1” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจาก LCD ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

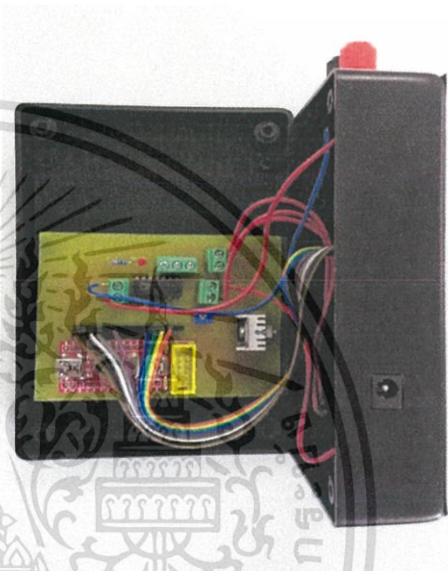
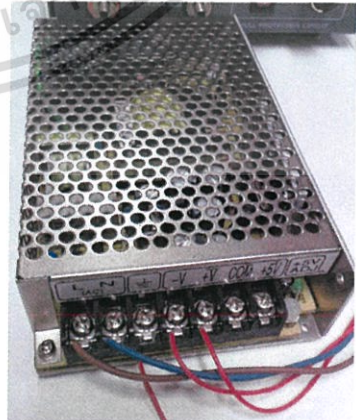


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

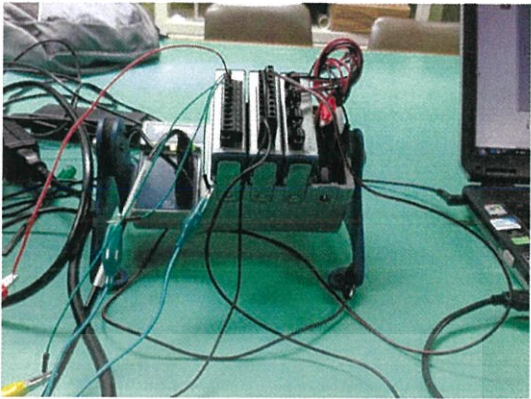
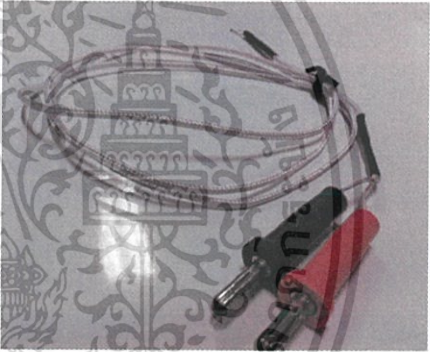
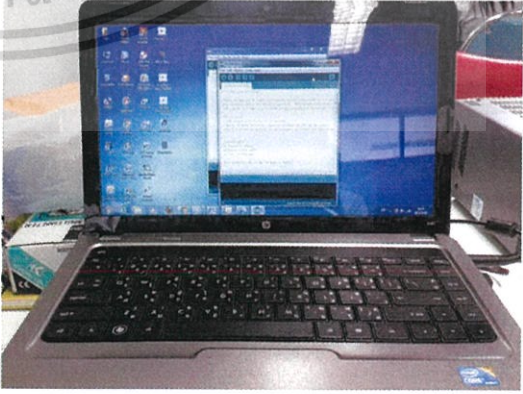
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

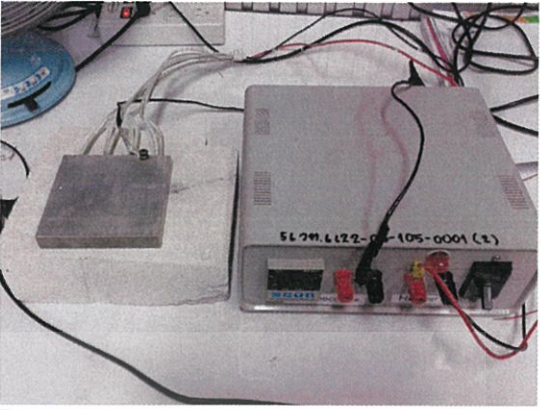

ชื่ออุปกรณ์	รูปภาพ
<p>1. เครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งประกอบไปด้วย</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IC AD595 จำนวน 1 ตัว</li> <li>- ตัวเก็บประจุ 0.1 <math>\mu\text{F}</math> จำนวน 1 ตัว</li> <li>- ตัวต้านทาน 330 <math>\Omega</math> จำนวน 1 ตัว</li> <li>- ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 k<math>\Omega</math> จำนวน 1 ตัว</li> <li>- ไดโอดเปล่งแสง(LED) 3mm. จำนวน 1 ตัว</li> <li>- Regulator LM7805 จำนวน 1 ตัว</li> <li>- LCD Display</li> <li>- ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-EASY168</li> </ul>	
<p>2. Power Supply</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีแหล่งจ่าย +5 Volt</li> </ul>	

รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 3.2 แสดงแหล่งจ่าย +5 Volt

ชื่ออุปกรณ์	รูปภาพ
3.ตัววัดแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิ	 <p data-bbox="739 698 1243 750">รูปที่ 3.3 แสดงตัววัดแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิ</p>
4. Thermocouple type k	 <p data-bbox="801 1278 1172 1330">รูปที่ 3.4 แสดงรูปเทอร์โมคัปเปิล</p>
5. Computer	 <p data-bbox="782 1892 1186 1944">รูปที่ 3.5 แสดงรูปภาพคอมพิวเตอร์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่ออุปกรณ์	รูปภาพ
6. แหล่งกำเนิดอุณหภูมิ	 <p data-bbox="839 713 1143 756">รูปที่ 3.6 แสดงรูป Heater</p>
7.เทอร์โมมิเตอร์	 <p data-bbox="739 1349 1229 1392">รูปที่ 3.7 แสดงเทอร์โมมิเตอร์รุ่น GTH1170</p>

### 3.2 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่จะวัด อุปกรณ์ที่จะใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องมือ ศึกษาการทำงาน วิธีการเขียน การควบคุมเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และระบบการวัดวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการเพื่อสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ และนำข้อมูลที่ได้ไปผ่านการแปลงสัญญาณจากแบบ อนุาลอก เป็น ดิจิตอล โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลบนหน้าจอ

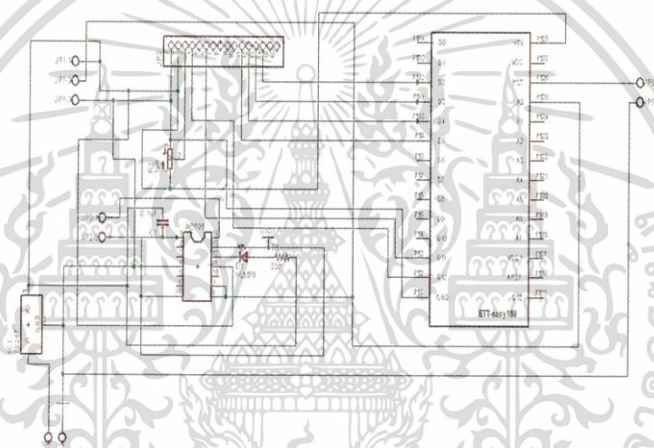
ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำการศึกษาวิธีการวัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โมคัปเปิล ชนิด ช่วงอุณหภูมิในการใช้งาน อุณหภูมิห้อง – 300 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้นำ IC เบอร์ AD595 มาใช้งานในวงจรด้วย ซึ่งเป็น IC ที่ผลิตออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับ เทอร์โมคัปเปิลโดยมีจุดอ้างอิงแบบน้ำแข็งอยู่ภายในตัว ทำหน้าที่เป็นตัวขยายและปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสม หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-EASY168 ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ อนุลอก เป็น ดิจิตอล (A/D) แสดงผลบน LCD โดยต้องทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป จะได้ผลการทางคณิตศาสตร์ออกมา นำสมการที่ได้ไปประกอบในการเขียนโปรแกรม ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยภาษาที่เขียนจะเป็น C++

### 3.2.1 วงจรการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยเขียนเป็น Schematic

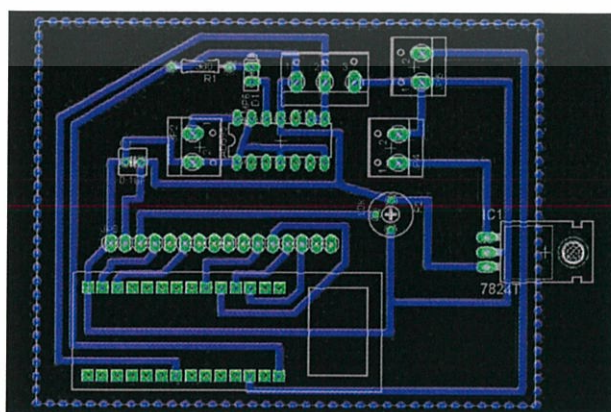
วงจรภายในเครื่องวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการเขียน Schematic ในวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ

### 3.2.2 การเขียน Layout ในโปรแกรม eagle

การเขียน layout ของวงจรภายในเครื่องวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 3.9

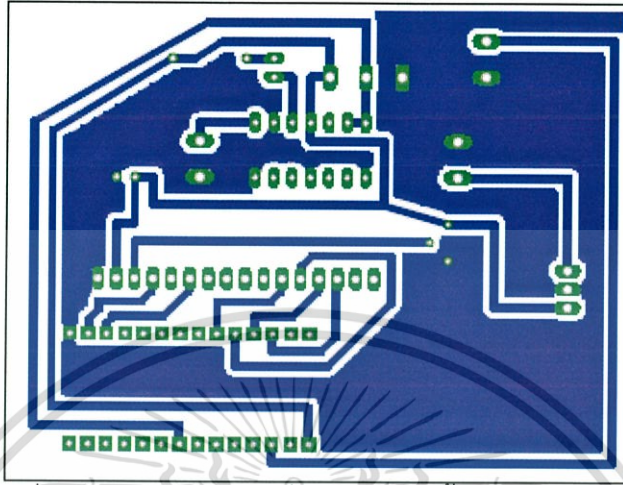


รูปที่ 3.9 แสดงการเขียนวงจรในโปรแกรม eagle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การเขียนลายกัดปรินต์ ในโปรแกรม eagle

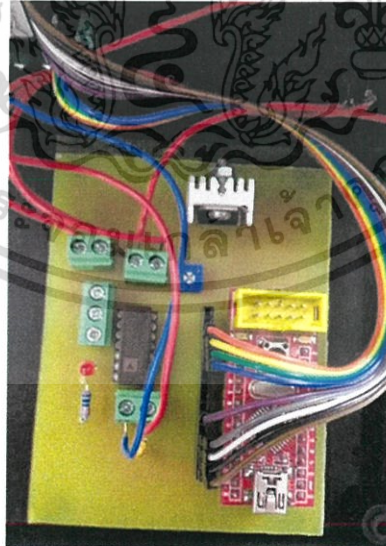
เมื่อทำการเขียน Layout ในโปรแกรม eagle ทำการสร้างลายวงจรเพื่อนำมา  
กัดปรินต์ในแผ่นทองแดงต่อไป เพื่อทำเป็นวงจรในการต่อตัวอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงลายวงจรที่จะนำมากัดปรินต์ในแผ่นทองแดง

### 3.2.4 การประกอบเครื่องมือ

1. นำอุปกรณ์ต่างๆประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้หัวแร้งในการบัดกรีวงจร และ ใช้สายไฟ  
เชื่อมโยงอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัว

2. นำตัวอุปกรณ์แต่ละตัวประกอบเข้ากล่องขนาดเล็กซึ่งทำด้วยพลาสติกโดยใช้สกรูยึด  
ติดระหว่างบอร์ดกับพลาสติก ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอุปกรณ์ใส่ลงในกล่อง

3.ทำการทดลองวัดอุณหภูมิเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบในการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์

4.ทำการเขียนโปรแกรมโดยส่งผ่านข้อมูลทางสาย USB ระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวเครื่องมือ โดยใช้โปรแกรมของ Arduino ซึ่งใช้ภาษา C++ ในการเขียนเพื่อให้ข้อมูลแสดงผลบน LCD ดังรูปที่ 3.14

```
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jun30a5
int incomingByte = 0; // for incoming serial data
void setup() {
  Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate
}
void loop() {
  // send data only when you receive data:
  if (Serial.available() > 0) {
    // read the incoming byte:
    incomingByte = Serial.read();
    // say what you got:
    Serial.print("I received: ");
    Serial.println(incomingByte, DEC);
  }
}
```

Done uploading.  
Binary sketch size: 2382 bytes (of a 30720 byte maximum)

รูปที่ 3.14 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการสอบเทียบเครื่องมือที่สร้างขึ้นมา เพื่อสอบเทียบกับเครื่องมือที่มีมาตรฐาน โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์รุ่น GTH1170 ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือที่สอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์รุ่น GTH1170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 4.1 บทนำ

ในการทดลองเรื่องการวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคนั้น เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแต่ละช่วงของอุณหภูมิจากวงจรที่สร้างขึ้นมา เพื่อเป็นการหาค่าที่ได้โดยนำสมการเข้ามาช่วยในการคำนวณอุณหภูมิในย่านต่างๆ

### 4.2 การทดลองและผลการทดลอง

ทำการทดลองโดยวัดอุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียส โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆที่ทุกๆย่านของอุณหภูมิตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง-300 °C

#### 4.2.1 การทดลองวัดอุณหภูมิเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดอุณหภูมิ

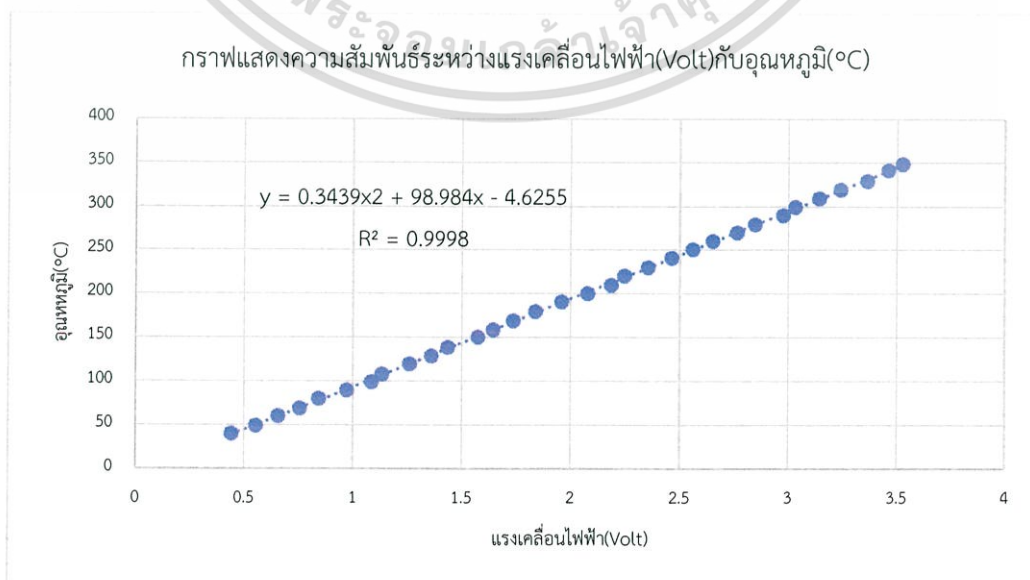
ในการทำงานวิจัยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้อง - 300 °C จากวงจรที่สร้างขึ้น โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด k ทำการทดลองวัดอุณหภูมิเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Labview ในการบันทึกค่าที่ได้และเครื่องที่ใช้ทำการทดลองเพื่อที่จะนำสมการที่ได้ไปคำนวณจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ทำการวัดได้เปลี่ยนเป็นค่าอุณหภูมิ

โดยขั้นตอนในการทำงานของเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้นมานั้นจะใช้ตัวเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ใช้วัดอุณหภูมิจากแหล่งความร้อน ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดนั้นจะเป็นค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้า เราต้องทำการแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้โดยใช้สมการที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิ เมื่อค่าที่ได้แสดงผลเป็นอุณหภูมิแล้ว จึงนำค่านั้นมาแสดงบน LCD

จากการทดลองตอนที่ 1 ผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองแบ่งเป็น 3 ครั้ง  
 ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k (ครั้งที่ 1)

อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)	อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)
40.3424	0.4395	200.8238	2.0743
49.6695	0.5526	210.3892	2.1823
60.5871	0.6554	220.6644	2.244
69.5187	0.7531	230.4006	2.3519
80.5293	0.8405	241.3955	2.4599
89.9704	0.969	251.3203	2.5576
99.6418	1.0821	260.6992	2.6501
108.3963	1.1284	270.7375	2.7632
120.1013	1.2569	279.9051	2.8455
129.3637	1.3546	290.4682	2.974
139.2543	1.4317	300.1471	3.0305
150.8183	1.5705	309.9014	3.1385
159.2751	1.6425	319.7439	3.2362
169.4222	1.735	329.7786	3.3596
180.0555	1.8378	342.279	3.4572
191.2411	1.9561	348.9977	3.5241

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Volt)กับอุณหภูมิ(°C)

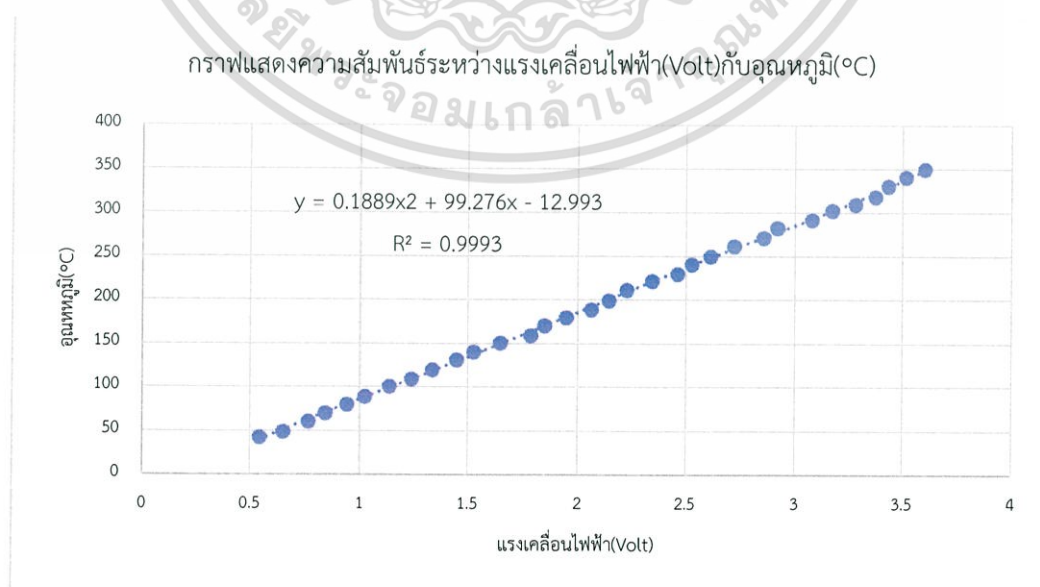


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k (ครั้งที่ 2)

อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)	อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)
43.1696	0.5423	199.4608	2.1411
49.3067	0.6502	211.5267	2.2234
60.8938	0.7633	221.8782	2.3416
70.6969	0.8405	230.0985	2.4599
80.4682	0.9381	240.8788	2.5267
89.6475	1.0204	250.1264	2.6141
101.2732	1.1335	261.742	2.7221
109.7487	1.2363	271.6001	2.8557
120.5348	1.334	282.9364	2.9174
131.6648	1.4471	291.8399	3.0768
140.7552	1.5242	302.4924	3.1694
151.0092	1.6476	309.6748	3.2773
159.7032	1.7864	318.2863	3.3699
170.9229	1.8481	330.5429	3.4315
180.0858	1.9458	340.855	3.5138
189.4553	2.0589	349.9288	3.6012

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Volt)กับอุณหภูมิ(°C)

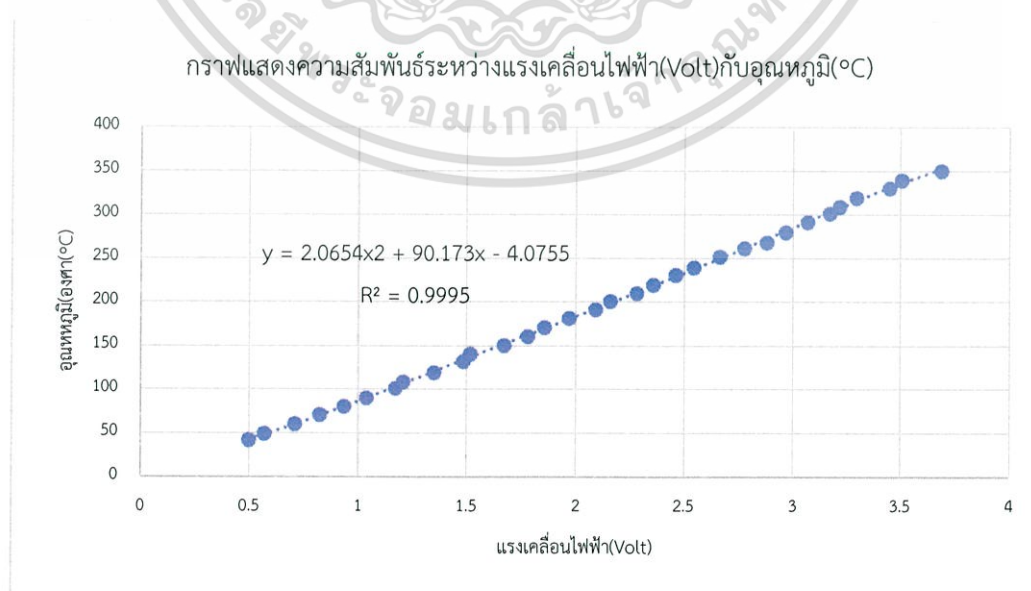


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองของเทอร์โมคัปเปิลชนิด k (ครั้งที่ 3)

อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)	อุณหภูมิ(°C)	Voltage(Volt)
42.175	0.496	201.2372	2.1566
49.4758	0.568	210.4834	2.28
60.5567	0.7068	219.9703	2.3571
71.1372	0.8199	231.3028	2.4599
80.9702	0.933	239.9997	2.5421
90.6856	1.0358	252.4602	2.6604
101.5776	1.1695	261.7252	2.7735
109.1552	1.2055	268.3896	2.8763
119.494	1.3494	280.1889	2.9637
132.5916	1.4831	291.8867	3.0665
141.0128	1.5139	301.8915	3.1694
150.8978	1.6682	309.4782	3.2156
161.2276	1.7761	319.9019	3.2927
171.329	1.8532	330.8369	3.447
181.81	1.9664	340.0653	3.5035
192.0521	2.0897	350.702	3.6835

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Volt)กับอุณหภูมิ(°C)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำในการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ในการทดลองจะทำการทดสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมาเพื่อสอบเทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่มีมาตรฐานโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด k ในการทดสอบความแม่นยำ ตารางที่ 4.4 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 1 )

อุณหภูมิ(°C) เครื่องมาตรฐาน	อุณหภูมิ(°C) เครื่องที่สร้างขึ้น
30	30
40	40
50	50
60	61
70	68
80	79
90	88
100	100
110	110
120	117
130	128
140	137
150	147
160	156
170	167
180	179
190	192
200	201
210	212
220	224
230	230
240	241
250	250
260	259
270	268
280	277
290	289
300	298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 2 )

อุณหภูมิ(°C) เครื่องมาตรฐาน	อุณหภูมิ(°C) เครื่องที่สร้างขึ้น
30	30
40	40
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	102
110	112
120	118
130	132
140	144
150	146
160	159
170	172
180	175
190	193
200	201
210	212
220	218
230	230
240	238
250	249
260	257
270	273
280	278
290	287
300	296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐาน ( ครั้งที่ 3 )

อุณหภูมิ(°C) เครื่องมาตรฐาน	อุณหภูมิ(°C) เครื่องที่สร้างขึ้น
30	30
40	40
50	50
60	60
70	70
80	82
90	92
100	104
110	111
120	120
130	133
140	140
150	149
160	160
170	170
180	181
190	191
200	199
210	209
220	219
230	227
240	239
250	248
260	260
270	271
280	280
290	291
300	301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.3.1 การวิเคราะห์ผล

$$\text{จาก ค่าความคลาดเคลื่อน ( Error )} = \left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี}}{\text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี}} \right| \times 100\%$$

$$\text{จาก ค่าความแม่นยำ ( Accuracy )} = 100 - \% \text{Error}$$

$$\text{จาก ค่าความเที่ยงตรง ( Precision )} = 1 - \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right| \times 100\%$$

$$\text{โดย } x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$x_i$  = ค่าการวัดแต่ละครั้ง

$n$  = จำนวนครั้งของการวัด

การวิเคราะห์ผลการทดลองในย่านอุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลอง Error และ Accuracy ในย่านอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่				เฉลี่ย	Error (%)	Accuracy (%)
	1	2	3				
30	30	30	30	30.00	0.00	100.00	
40	40	40	40	40.00	0.00	100.00	
50	50	50	50	50.00	0.00	100.00	
60	61	60	60	60.33	0.56	99.44	
70	68	70	70	69.33	0.95	99.05	
80	79	80	82	80.33	0.42	99.58	
90	88	90	92	90.00	0.00	100.00	
100	100	102	104	102.00	2.00	98.00	
110	110	112	111	111.00	0.91	99.09	
120	117	118	120	118.33	1.39	98.61	
130	128	132	133	131.00	0.77	99.23	
140	137	144	140	140.33	0.24	99.76	
150	147	146	149	147.33	1.78	98.22	
160	156	159	160	158.33	1.04	98.96	
170	167	172	170	169.67	0.20	99.80	
180	179	175	181	178.33	0.93	99.07	
190	192	193	191	192.00	1.05	98.95	
200	201	201	199	200.33	0.17	99.83	
210	212	212	209	211.00	0.48	99.52	
220	224	218	219	220.33	0.15	99.85	
230	230	230	227	229.00	0.43	99.57	
240	241	238	239	239.33	0.28	99.72	

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่				Error (%)	Accuracy (%)
	1	2	3	เฉลี่ย		
250	250	249	248	249.00	0.40	99.60
260	259	257	260	258.67	0.51	99.49
270	268	273	271	270.67	0.25	99.75
280	277	278	280	278.33	0.60	99.40
290	289	287	291	289.00	0.34	99.66
300	298	296	301	298.33	0.56	99.44
				Average	0.59	99.41

ตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลอง Precision ในย่านอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่				Precision (%)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	Average
30	30	30	30	30.00	100.00	100.00	100.00	100.00
40	40	40	40	40.00	100.00	100.00	100.00	100.00
50	50	50	50	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
60	61	60	60	60.33	98.90	99.45	99.45	99.26
70	68	70	70	69.33	98.08	99.04	99.04	98.72
80	79	80	82	80.33	98.34	99.59	97.93	98.62
90	88	90	92	90.00	97.78	100.00	97.78	98.52
100	100	102	104	102.00	98.04	100.00	98.04	98.69
110	110	112	111	111.00	99.10	99.10	100.00	99.40
120	117	118	120	118.33	98.87	99.72	98.59	99.06
130	128	132	133	131.00	97.71	99.24	98.47	98.47
140	137	144	140	140.33	97.62	97.39	99.76	98.26
150	147	146	149	147.33	99.77	99.10	98.87	99.25
160	156	159	160	158.33	98.53	99.58	98.95	99.02
170	167	172	170	169.67	98.43	98.62	99.80	98.95
180	179	175	181	178.33	99.63	98.13	98.50	98.75
190	192	193	191	192.00	100.00	99.48	99.48	99.65
200	201	201	199	200.33	99.67	99.67	99.33	99.56
210	212	212	209	211.00	99.53	99.53	99.05	99.37
220	224	218	219	220.33	98.34	98.94	99.39	98.89
230	230	230	227	229.00	99.56	99.56	99.13	99.42
240	241	238	239	239.33	99.30	99.44	99.86	99.54
250	250	249	248	249.00	99.60	100.00	99.60	99.73
260	259	257	260	258.67	99.87	99.36	99.48	99.57
270	268	273	271	270.67	99.01	99.14	99.88	99.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่				Precision (%)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	Average
280	277	278	280	278.33	99.52	99.88	99.40	99.60
290	289	287	291	289.00	100.00	99.31	99.31	99.54
300	298	296	301	298.33	99.89	99.22	99.11	99.40
							Average	99.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลวิจัย

การศึกษาการทำงานของวงจรเทอร์โมคัปเปิล และออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

1. จากการศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K พบว่าสัญญาณเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด k มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ และในการวัดอุณหภูมิของตัวเทอร์โมคัปเปิล จะต้องมีการชดเชยในการวัดด้วย จึงต้องใช้ไอซีเบอร์ AD595 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทางโรงงานผู้ผลิตออกแบบให้มีความสามารถในการขยายค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า และสามารถอ่านอุณหภูมิรอบตัว AD595 เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อนำค่าที่ได้ไปชดเชย และ แรงเคลื่อนไฟฟ้าอ้างอิงเพื่อปรับอัตราการขยายสัญญาณให้มีความคงที่

2. ศึกษาวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆสำหรับปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อให้ได้ระดับของสัญญาณตามที่ต้องการ และส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ET EASY 168 เพื่อแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล และ ประมวลผลรวมทั้งแสดงผล

3. การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ได้สอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส Thermometer รุ่น GTH1170 อ่านค่าที่หน้าจอ

4. ผลการทดลองที่ได้เมื่อทำการสอบเทียบกับ Thermometer รุ่น GTH1170 พบว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมานั้น ค่า Error = 0.59% , Accuracy = 99.41% และ Precision = 99.24% ค่าทั้งหมดที่ทำการคำนวณมานั้นเป็นผลทำให้ทราบได้ว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาสามารถใช้งานได้จริง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาออกแบบตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลชนิด k รวมถึงไอซีเบอร์อื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้แทนไอซีเบอร์ AD595

จากการศึกษาพบว่าไอซีเบอร์ AD595 นั้นมีราคาค่อนข้างแพงและหาซื้อได้ยากทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงานจึงควรศึกษาหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไอซีเบอร์อื่นๆที่มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน นำมาใช้ทดแทนไอซีเบอร์ AD595

ควรพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ขึ้นมาใช้เอง เพื่อที่จะสามารถประยุกต์กับการวัดปริมาณอื่นๆได้ด้วย สามารถพัฒนาต่อยอดโดยการออกแบบให้มีการบันทึกค่าเป็นแบบ SD Card เพื่อสะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบและแนวทางแก้ไข

1. จากการศึกษาวงจรการทำงาน ในขั้นตอนการทดลองมีการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่วงจรจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการต่อวงจรและจำหน่ายแหล่งจ่ายให้กับวงจร เนื่องจากถ้าเราต่อวงจรผิดพลาดขึ้นมาจะทำให้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรเกิดความเสียหายได้

2. อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นต้องมีการใช้ไฟฟ้าซึ่งมีผลกระทบโดยตรงเมื่อสัมผัสกับน้ำ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยง หรือ ระมัดระวัง ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หากใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไม่สม่ำเสมอจะมีผลต่อการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าจ่ายออกอย่างสม่ำเสมอ



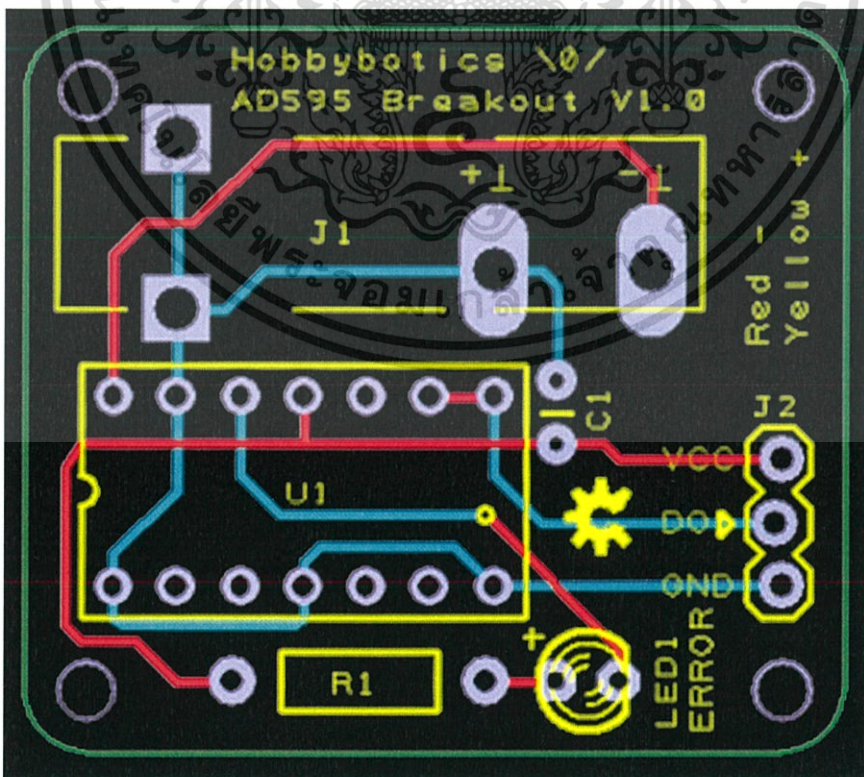
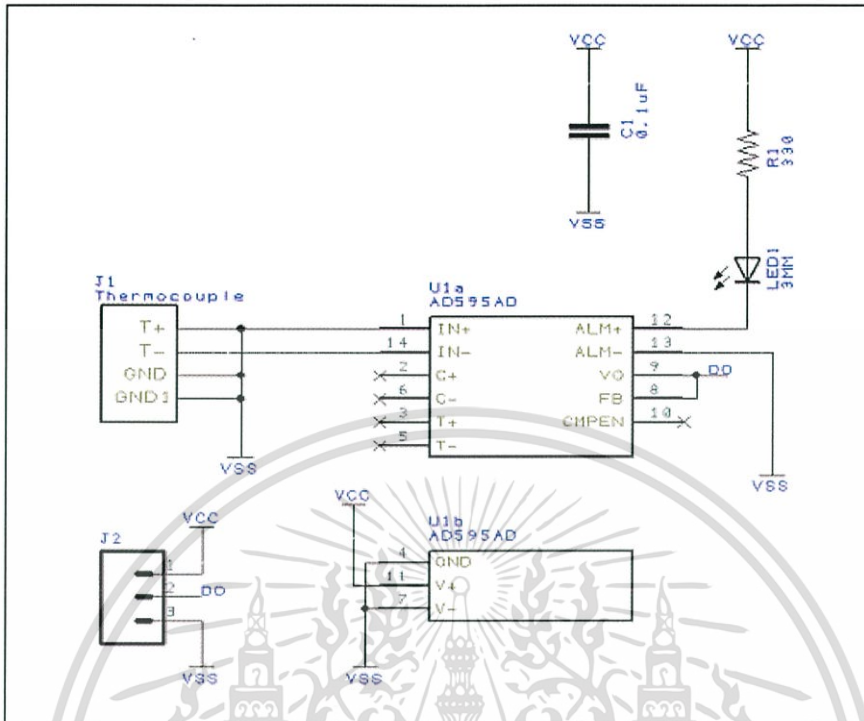
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

วงจรรการทำงานของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
โปรแกรมการทำงานของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1- #include <LiquidCrystal.h>
2- LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
3- #include <firFilter.h>
4- firFilter Filter;
5- int value;
6- int filtered;
7- int x,tempC,tempF ;
8- int pointer;
9- int weightNumber = 5;
10- float voltage;
11- int tempCAverage,tempFAverage,tempCsum,tempFsum;
12- void setup()
13- {
14- Serial.begin(9600);
15- Filter.begin();
16- lcd.begin(16, 2);
17- for (int run1=0;run1<=16;run1++)
18- {
19- lcd.setCursor(16-run1,0);
20- lcd.print("Measurement for");
21- lcd.setCursor(run1,1);
22- lcd.print("temperature");
23- lcd.display();
24- delay (400);
25- lcd.clear();
26- if(run1==16)
27- {
28- lcd.setCursor(0,0);
29- lcd.print("Measurement for");
30- lcd.setCursor(2,1);
31- lcd.print("temperature");
32- lcd.display();
33- delay (2000);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

34- lcd.clear();
35- }
36- }
37- lcd.setCursor(0,0);
38- lcd.print("celcius=");
39- lcd.setCursor(0,1);
40- lcd.print("farenheit=");
41- int value;
42- float voltage;
43- int tempCAverage,tempFAverage,tempCsum,tempFsum=0;
44- int tempCArr[weightNumber],tempFArr[weightNumber];
45- for(pointer=0;pointer<weightNumber;pointer++)
46- {
47- value = analogRead(A4);
48- voltage = value*(5.0/1023);
49- filtered= Filter.run(value);
50- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-4;
51- tempF = (1.8*tempC)+32;
52- tempCArr[pointer] = tempC;
53- tempFArr[pointer] = tempF;
54- lcd.clear();
55- lcd.setCursor(0,0);
56- lcd.print("celcius=");
57- lcd.setCursor(0,1);
58- lcd.print("farenheit=");
59- lcd.setCursor(8,0);
60- lcd.print(tempCAverage);
61- lcd.setCursor(10,0);
62- lcd.print(tempFAverage);
63- lcd.display();
64- delay(2000);
65- }
66- }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

67- void loop()
68- {
69- pointer=0;
70- tempCsum=0;
71- tempFsum=0;
72- tempCAverage=0;
73- tempFAverage=0;
74- int tempCArr[weightNumber],tempFArr[weightNumber];
75- int value;
76- int filtered;
77- int x,tempC,tempF ;
78- int pointer;
79- int weightNumber = 5;
80- float voltage;
81- int tempCAverage,tempFAverage,tempCsum,tempFsum;
82- for(pointer=0;pointer<weightNumber;pointer++)
83- {
84- if ((voltage>0.0)&&(voltage<0.41))
85- {
86- value = analogRead(A4);
87- voltage = value*(5.0/1023);
88- filtered= Filter.run(value);
89- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-4;
90- tempF = (1.8*tempC)+32;
91- tempCArr[pointer] = tempC;
92- tempFArr[pointer] = tempF;
93- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
2]+tempCArr[weightNumber-1];
94- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
2]+tempFArr[weightNumber-1];
95- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

96- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
97- lcd.clear();
98- lcd.setCursor(0,0);
99- lcd.print("celcius=");
100- lcd.setCursor(0,1);
101- lcd.print("farenheit=");
102- lcd.setCursor(8,0);
103- lcd.print(tempCAverage);
104- lcd.setCursor(10,0);
105- lcd.print(tempFAverage);
106- delay(2000);
107- }
108- if ((voltage>0.41)&&(voltage<0.81))
109- {
110- value = analogRead(A4);
111- voltage = value*(5.0/1023);
112- filtered= Filter.run(value);
113- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+(98.984*(voltage)-4.6255))-7);
114- tempF = (1.8*tempC)+32;
115- tempCarr[pointer] = tempC;
116- tempFarr[pointer] = tempF;
117- tempCsum = tempCarr[weightNumber-5]+tempCarr[weightNumber-
4]+tempCarr[weightNumber-3]+tempCarr[weightNumber-
2]+tempCarr[weightNumber-1];
118- tempFsum = tempFarr[weightNumber-5]+tempFarr[weightNumber-
4]+tempFarr[weightNumber-3]+tempFarr[weightNumber-
2]+tempFarr[weightNumber-1];
119- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
120- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
121- lcd.clear();
122- lcd.setCursor(0,0);
123- lcd.print("celcius=");
124- lcd.setCursor(0,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

125- lcd.print("fahrenheit=");
126- lcd.setCursor(8,0);
127- lcd.print(tempCAverage);
128- lcd.setCursor(10,0);
129- lcd.print(tempFAverage);
130- delay(2000);
131- }
132- if ((voltage>0.81)&&(voltage<1.18))
133- {
134- value = analogRead(A4);
135- voltage = value*(5.0/1023);
136- filtered= Filter.run(value);
137- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+(98.984*(voltage)-4.6255))-12);
138- tempF = (1.8*tempC)+32;
139- tempCArr[pointer] = tempC;
140- tempFArr[pointer] = tempF;
141- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
2]+tempCArr[weightNumber-1];
142- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
2]+tempFArr[weightNumber-1];
143- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
144- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
145- lcd.clear();
146- lcd.setCursor(0,0);
147- lcd.print("celcius=");
148- lcd.setCursor(0,1);
149- lcd.print("fahrenheit=");
150- lcd.setCursor(8,0);
151- lcd.print(tempCAverage);
152- lcd.setCursor(10,0);
153- lcd.print(tempFAverage);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

154- delay(2000);
155- }
156- if ((voltage>1.18)&&(voltage<1.81))
157- {
158- value = analogRead(A4);
159- voltage = value*(5.0/1023);
160- filtered= Filter.run(value);
161- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-15);
162- tempF = (1.8*tempC)+32;
163- tempCArr[pointer] = tempC;
164- tempFArr[pointer] = tempF;
165- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
166- 4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
167- 2]+tempCArr[weightNumber-1];
168- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
169- 4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
170- 2]+tempFArr[weightNumber-1];
171- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
172- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
173- lcd.clear();
174- lcd.setCursor(0,0);
175- lcd.print("celcius=");
176- lcd.setCursor(0,1);
177- lcd.print("farenheit=");
178- lcd.setCursor(8,0);
179- lcd.print(tempCAverage);
180- lcd.setCursor(10,0);
181- lcd.print(tempFAverage);
182- delay(2000);
183- }
184- if ((voltage>1.81)&&(voltage<2.35))
185- {
186- value = analogRead(A4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

183- voltage = value*(5.0/1023);
184- filtered= Filter.run(value);
185- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-25);
186- tempF = (1.8*tempC)+32;
187- tempCArr[pointer] = tempC;
188- tempFArr[pointer] = tempF;
189- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
2]+tempCArr[weightNumber-1];
190- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
2]+tempFArr[weightNumber-1];
191- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
192- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
193- lcd.clear();
194- lcd.setCursor(0,0);
195- lcd.print("celcius=");
196- lcd.setCursor(0,1);
197- lcd.print("fahrenheit=");
198- lcd.setCursor(8,0);
199- lcd.print(tempCAverage);
200- lcd.setCursor(10,0);
201- lcd.print(tempFAverage);
202- delay(2000);
203- }
204- if ((voltage>2.35)&&(voltage<2.86))
205- {
206- value = analogRead(A4);
207- voltage = value*(5.0/1023);
208- filtered= Filter.run(value);
209- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-28);
210- tempF = (1.8*tempC)+32;
211- tempCArr[pointer] = tempC;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

212- tempFArr[pointer] = tempF;
213- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
2]+tempCArr[weightNumber-1];
214- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
2]+tempFArr[weightNumber-1];
215- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
216- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
217- lcd.clear();
218- lcd.setCursor(0,0);
219- lcd.print("celcius=");
220- lcd.setCursor(0,1);
221- lcd.print("farenheit=");
222- lcd.setCursor(8,0);
223- lcd.print(tempCAverage);
224- lcd.setCursor(10,0);
225- lcd.print(tempFAverage);
226- delay(2000);
227- }
228- if ((voltage>2.86)&&(voltage<3.12))
229- {
230- value = analogRead(A4);
231- voltage = value*(5.0/1023);
232- filtered= Filter.run(value);
233- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-34);
234- tempF = (1.8*tempC)+32;
235- tempCArr[pointer] = tempC;
236- tempFArr[pointer] = tempF;
237- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
2]+tempCArr[weightNumber-1];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

238- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
    4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
    2]+tempFArr[weightNumber-1];
239- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
240- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;
241- lcd.clear();
242- lcd.setCursor(0,0);
243- lcd.print("celcius=");
244- lcd.setCursor(0,1);
245- lcd.print("farenheit=");
246- lcd.setCursor(8,0);
247- lcd.print(tempCAverage);
248- lcd.setCursor(10,0);
249- lcd.print(tempFAverage);
250- delay(2000);
251- }
252- else if ((voltage>3.12))
253- {
254- value = analogRead(A4);
255- voltage = value*(5.0/1023);
256- filtered= Filter.run(value);
257- tempC = (((0.3439*pow(voltage,2))+98.984*(voltage)-4.6255))-35);
258- tempF = (1.8*tempC)+32;
259- tempCArr[pointer] = tempC;
260- tempFArr[pointer] = tempF;
261- tempCsum = tempCArr[weightNumber-5]+tempCArr[weightNumber-
    4]+tempCArr[weightNumber-3]+tempCArr[weightNumber-
    2]+tempCArr[weightNumber-1];
262- tempFsum = tempFArr[weightNumber-5]+tempFArr[weightNumber-
    4]+tempFArr[weightNumber-3]+tempFArr[weightNumber-
    2]+tempFArr[weightNumber-1];
263- tempCAverage = tempCsum/weightNumber;
264- tempFAverage = tempFsum/weightNumber;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
265- lcd.clear();
266- lcd.setCursor(0,0);
267- lcd.print("celcius=");
268- lcd.setCursor(0,1);
269- lcd.print("farenheit=");
270- lcd.setCursor(8,0);
271- lcd.print(tempCAverage);
272- lcd.setCursor(10,0);
273- lcd.print(tempFAverage);
274- delay(2000);
275- }
276- }
277- }
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

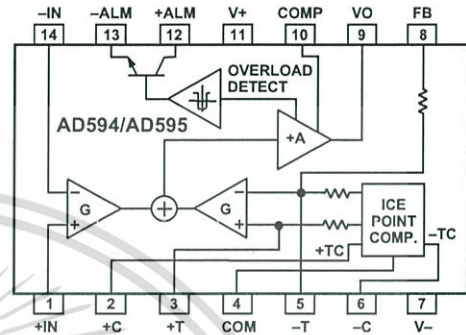


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### FEATURES

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

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### PRODUCT DESCRIPTION

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

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

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

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

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

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

### PRODUCT HIGHLIGHTS

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

### REV. C

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATING</b>													
$+V_S$ 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
<b>Alarm Voltages</b>													
+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			
<b>TEMPERATURE MEASUREMENT</b> (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C <sup>1</sup>			±3			±1			±3			±1	°C
Stability vs. Temperature <sup>2</sup>			±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
<b>AMPLIFIER CHARACTERISTICS</b>													
Closed Loop Gain <sup>3</sup>	193.4 (Temperature in °C) × 51.70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			193.4 (Temperature in °C) × 51.70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			247.3 (Temperature in °C) × 40.44 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			247.3 (Temperature in °C) × 40.44 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			
Input Offset Voltage	0.1			0.1			0.1			0.1			$\mu\text{V}$
Input Bias Current	-10		+50	-10		+50	-10		+50	-10		+50	$\mu\text{A}$
Differential Input Range	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	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
<b>Output Voltage Range</b>													
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 <sup>4</sup>		±5			±5			±5			±5		mA
3 dB Bandwidth		15			15			15			15		kHz
<b>ALARM CHARACTERISTICS</b>													
$V_{CE(SAT)}$ at 2 mA		0.3			0.3			0.3			0.3		Volts
Leakage Current		±1			±1			±1			±1		$\mu\text{A}$ 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
<b>POWER REQUIREMENTS</b>													
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 <sup>5</sup>	$+V_S$ 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)													$\mu\text{A}$
+ $V_S$		160	300		160	300		160	300		160	300	$\mu\text{A}$
- $V_S$		100			100			100			100		$\mu\text{A}$
<b>PACKAGE OPTION</b>													
TO-116 (D-14)		AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD		
Cerdip (Q-14)		AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ		

## NOTES

<sup>1</sup>Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . 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.

<sup>2</sup>Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

<sup>3</sup>Pin 8 shorted to Pin 9.

<sup>4</sup>Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 k $\Omega$  resistor at output voltages below 2.5 V.

<sup>5</sup>- $V_S$  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  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , while for a type K it is 40.44  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16  $\mu\text{V}$  for the AD594 and 11  $\mu\text{V}$  for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

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

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

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

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

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

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

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

Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, V<sub>S</sub> = -5 V, +15 V)

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021
-100	-4.632	-893	-3.553	-876
-80	-3.785	-729	-2.920	-719
-60	-2.892	-556	-2.243	-552
-40	-1.960	-376	-1.527	-375
-20	-.995	-189	-.777	-189
-10	-.501	-94	-.392	-94
0	0	3.1	0	2.7
10	.507	101	.397	101
20	1.019	200	.798	200
25	1.277	250	1.000	250
30	1.536	300	1.203	300
40	2.058	401	1.611	401
50	2.585	503	2.022	503
60	3.115	606	2.436	605
80	4.186	813	3.266	810
100	5.268	1022	4.095	1015
120	6.359	1233	4.919	1219
140	7.457	1445	5.733	1420
160	8.560	1659	6.539	1620
180	9.667	1873	7.338	1817
200	10.777	2087	8.137	2015
220	11.887	2302	8.938	2213
240	12.998	2517	9.745	2413
260	14.108	2732	10.560	2614
280	15.217	2946	11.381	2817
300	16.325	3160	12.207	3022
320	17.432	3374	13.039	3227
340	18.537	3588	13.874	3434
360	19.640	3801	14.712	3641
380	20.743	4015	15.552	3849
400	21.846	4228	16.395	4057
420	22.949	4441	17.241	4266
440	24.054	4655	18.088	4476
460	25.161	4869	18.938	4686
480	26.272	5084	19.788	4896

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
500	27.388	5300	20.640	5107
520	28.511	5517	21.493	5318
540	29.642	5736	22.346	5529
560	30.782	5956	23.198	5740
580	31.933	6179	24.050	5950
600	33.096	6404	24.902	6161
620	34.273	6632	25.751	6371
640	35.464	6862	26.599	6581
660	36.671	7095	27.445	6790
680	37.893	7332	28.288	6998
700	39.130	7571	29.128	7206
720	40.382	7813	29.965	7413
740	41.647	8058	30.799	7619
750	42.283	8181	31.214	7722
760	-	-	31.629	7825
780	-	-	32.455	8029
800	-	-	33.277	8232
820	-	-	34.095	8434
840	-	-	34.909	8636
860	-	-	35.718	8836
880	-	-	36.524	9035
900	-	-	37.325	9233
920	-	-	38.122	9430
940	-	-	38.915	9626
960	-	-	39.703	9821
980	-	-	40.488	10015
1000	-	-	41.269	10209
1020	-	-	42.045	10400
1040	-	-	42.817	10591
1060	-	-	43.585	10781
1080	-	-	44.439	10970
1100	-	-	45.108	11158
1120	-	-	45.863	11345
1140	-	-	46.612	11530
1160	-	-	47.356	11714
1180	-	-	48.095	11897
1200	-	-	48.828	12078
1220	-	-	49.555	12258
1240	-	-	50.276	12436
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

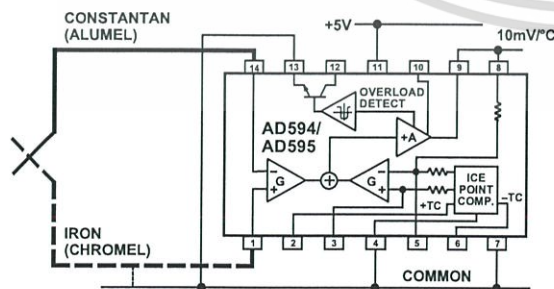


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

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

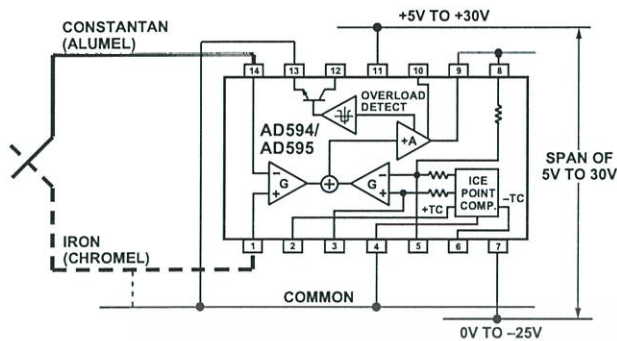


Figure 2. Dual Supply Operation

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.

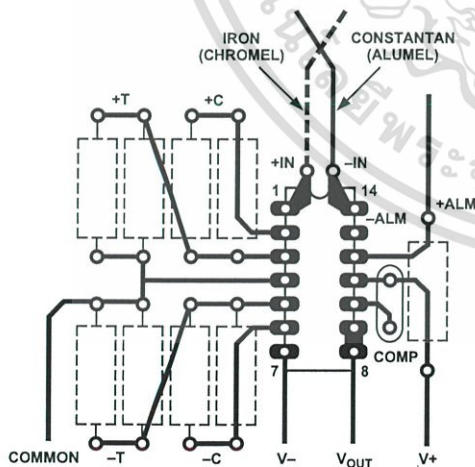


Figure 3. PCB Connections

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.

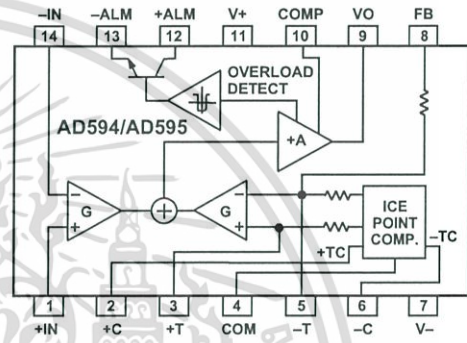


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

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.

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 μF capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

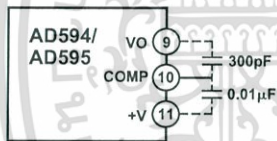


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

**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.

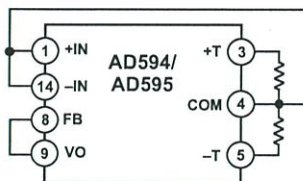


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

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 kΩ internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

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

**EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595**

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

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

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

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

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

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 kΩ.

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

REV: C นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรี-5- เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AD594/AD595

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

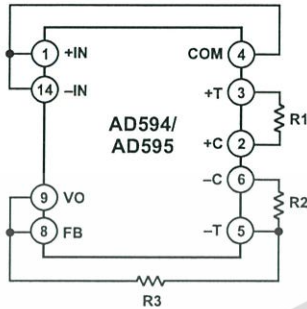


Figure 7. Type E Recalibration

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

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

### USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

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

### STABILITY OVER TEMPERATURE

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

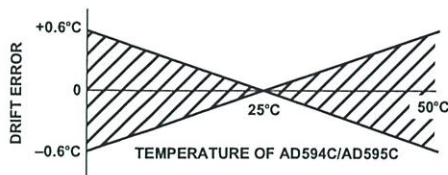


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

### THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

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

### SETPOINT CONTROLLER

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

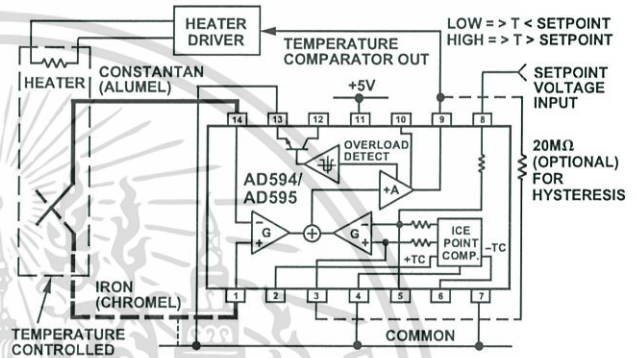


Figure 9. Setpoint Controller

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

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

## 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.

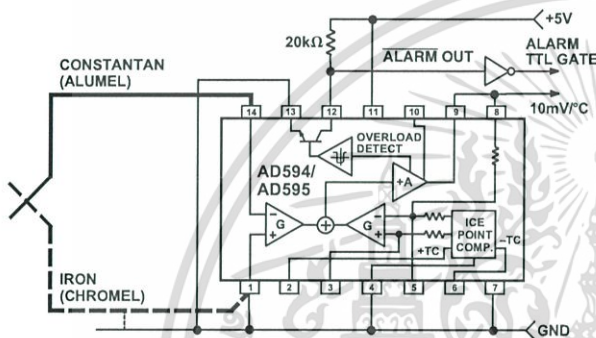


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

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.

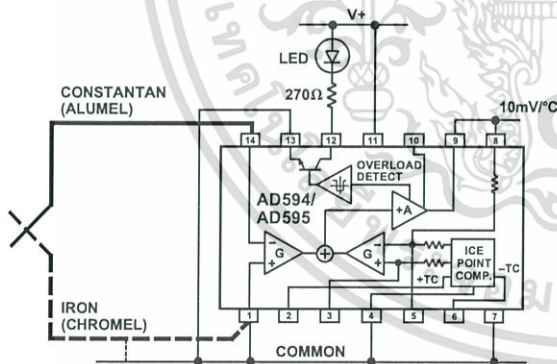


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A 270  $\Omega$  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.

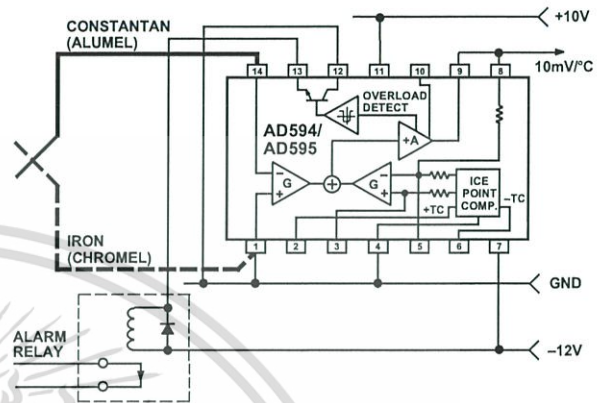


Figure 12.  $-ALM$  Driving A Negative Referenced Load

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.

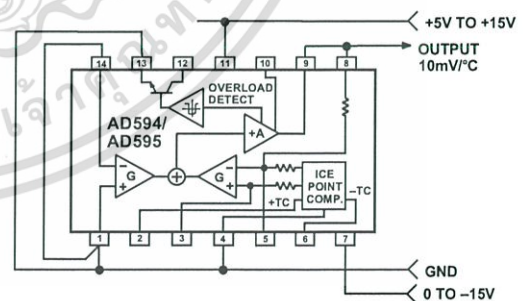


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

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/ $^{\circ}C$ . In this three terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military  $-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$  temperature range.

# AD594/AD595

## THERMOCOUPLE BASICS

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

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

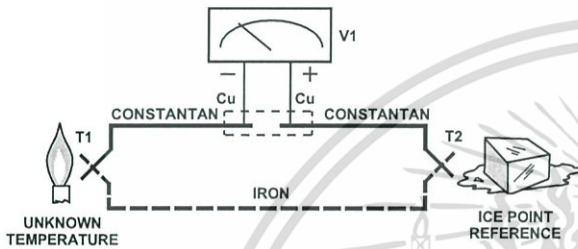


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

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

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

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

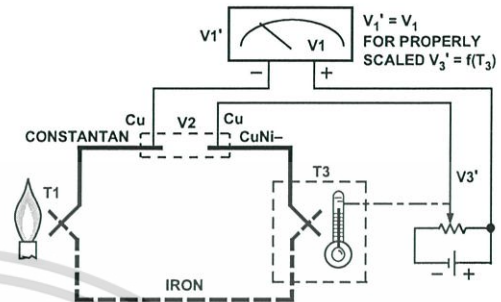


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

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

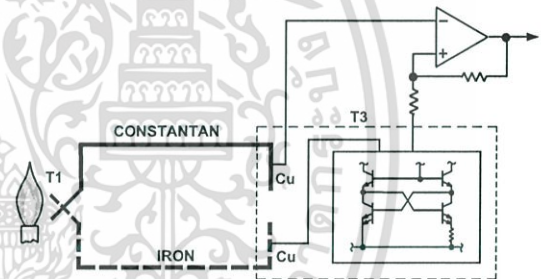


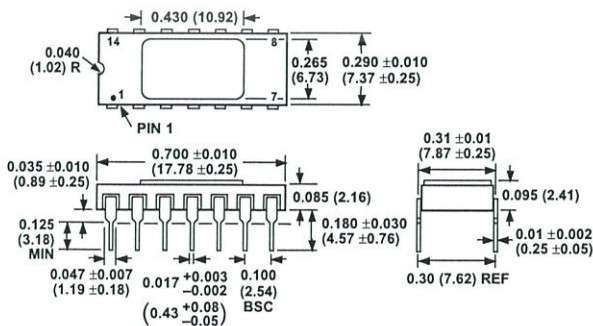
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

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

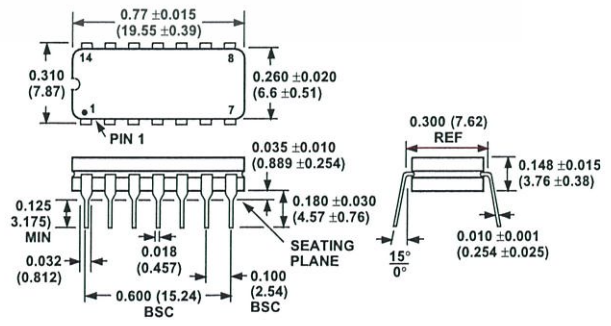
## OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

### TO-116 (D) Package



### Cerdip (Q) Package





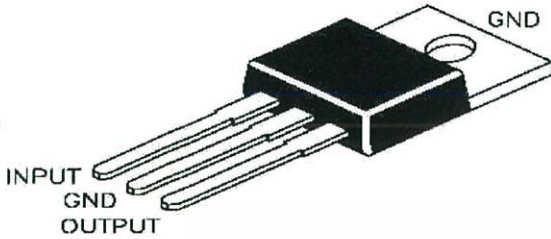
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

LM7805

TO-220

Plastic Package



The Voltages Available allow these Regulators to be used in Logic Systems, Instrumentation, Hi-Fi Audio Circuits and other Solid State Electronic Equipment

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

DESCRIPTION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Input Voltage	$V_{IN}$	35	V
Continuous Total Dissipation at $T_a=25^\circ\text{C}$ free air Temperature	$P_D$	2.0	W
Continuous Total Dissipation at $T_c=25^\circ\text{C}$ case Temperature	$P_D$	15	W
Operating free-air, case, or Virtual Junction Temperature Range	$T_{OPR}$	0 to 150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	- 65 to +150	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature 1.6mm (1/16 inch) from Case for 10 seconds	$T_L$	260	$^\circ\text{C}$

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_j=25^\circ\text{C}$ unless specified otherwise)

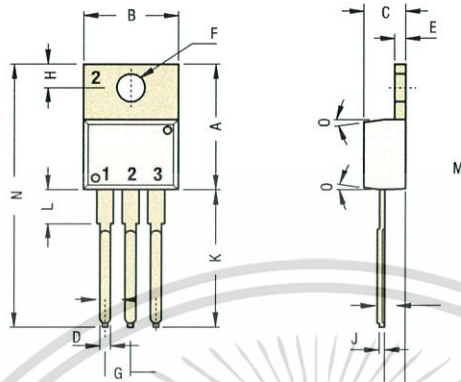
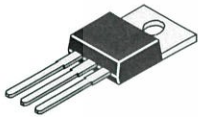
$V_i=10\text{V}$ ,  $I_o=500\text{mA}$

DESCRIPTION	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	$V_o$	$T_j=25^\circ\text{C}$	4.80		5.20	V
		$I_o=5\text{mA} \sim 1\text{A}$ $V_i=7\text{V} \sim 20\text{V}$ , $P \leq 15\text{W}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$	4.75		5.25	V
Line Regulation	$R_{EGV}$	$V_i=7.0 \sim 25\text{V}$ $T_j=25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_i=8.0 \sim 12\text{V}$			50	mV
Ripple Rejection	$R_R$	$V_i=8.0 \sim 18\text{V}$ , $f=120\text{Hz}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$	62			dB
Load Regulation	$R_{EGL}$	$I_o=5\text{mA} \sim 1.5\text{A}$ $T_j=25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_o=250\text{mA} \sim 750\text{mA}$			50	mV
Output Resistance	$R_o$	$f=1\text{KHz}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$		0.017		$\Omega$
Output Voltage Drift	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$		- 1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_{NO}$	$f=10\text{Hz} \sim 100\text{KHz}$ $T_j=25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}$
Dropout Voltage	$V_d$	$I_o=1\text{A}$ $T_j=25^\circ\text{C}$		2.0		V
Quiescent Current	$I_Q$	$T_j=25^\circ\text{C}$			8.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_i=7.0 \sim 25\text{V}$ $T_j=0 \sim 125^\circ\text{C}$			1.3	mA
		$I_o=5\text{mA} \sim 1\text{A}$			0.5	mA
Short Circuit Output Current	$I_{SC}$	$T_j=25^\circ\text{C}$		750		mA
Peak Output Current	$I_{PK}$	$T_j=25^\circ\text{C}$		2.2		A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำ

LM7805Rev\_1 180805E ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TO-220**  
Leaded Plastic  
Package



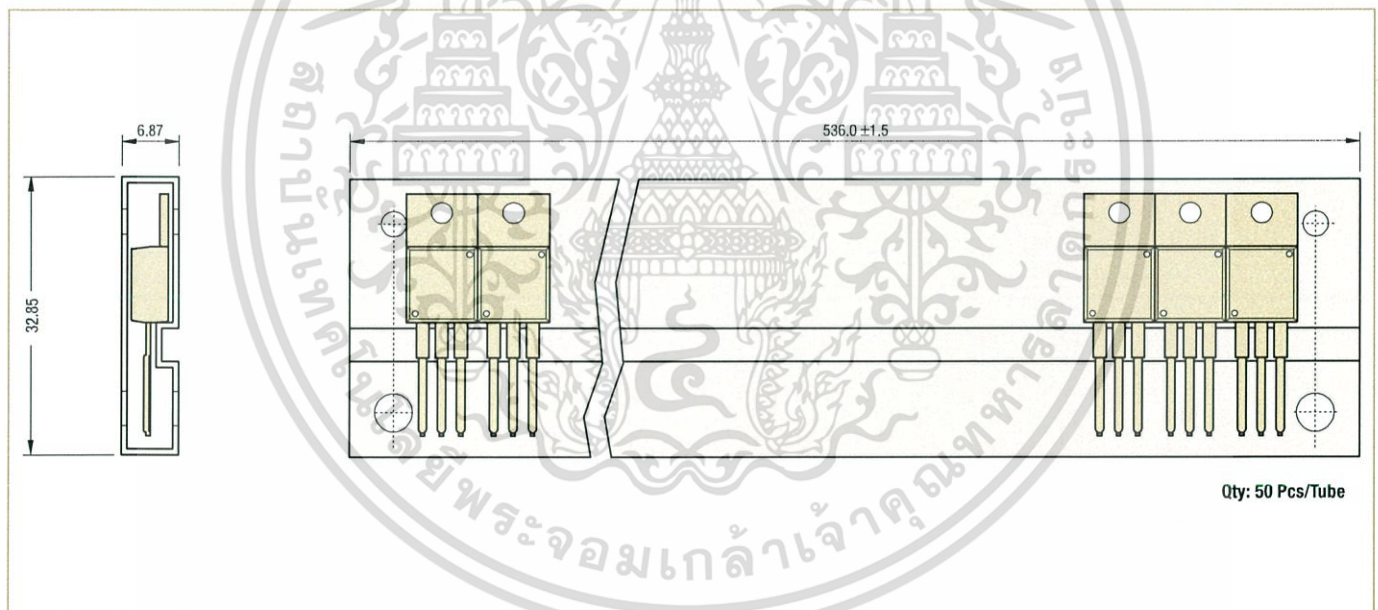
DIM	Min	Max
A	14.42	16.51
B	9.63	10.67
C	3.56	4.83
D	—	0.90
E	1.15	1.50
F	3.53	4.10
G	2.29	2.79

DIM	Min	Max
H	2.54	3.43
J	0.36	0.61
K	12.00	14.73
L	2.80	6.35
M	2.00	2.92
N	—	31.24
O	7°	

**Pin Configurations**

Regulators Pin 1: In Pin 2: Ground Pin 3: Out

**TO-220 Series Packaging Tube**



Qty: 50 Pcs/Tube

Packaging dimensions, tube dimensions and quantity/tube are approximate and subject to change.

**... Packaging Specifications**

T & A: Tape and Ammo Pack; T & R: Tape and Reel; Bulk: Loose in Poly Bags; Tube: Tube and Carton; K: 1,000

Package / Case Type	Packaging Type	Std. Packing		Inner Carton		Outer Carton		
		Qty	Qty	Size L x W x H (cm)	Gross Weight (Kg)	Qty	Size L x W x H (cm)	Gross Weight (Kg)
TO-220	Bulk	1,000	1K	19 x 19 x 8	2.0	10K	46 x 38 x 22	21.6
	Tube	1,000 (50 pcs/tube)	1K	55 x 8 x 10	2.8	10K	55 x 35 x 27	28.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Component Disposal Instructions

1. CDIL Semiconductor Devices are RoHS compliant, customers are requested to please dispose as per prevailing Environmental Legislation of their Country.
2. In Europe, please dispose as per EU Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).

### Disclaimer

The product information and the selection guides facilitate selection of the CDIL's Semiconductor Device(s) best suited for application in your product(s) as per your requirement. It is recommended that you completely review our Data Sheet(s) so as to confirm that the Device(s) meet functionality parameters for your application. The information furnished in the Data Sheet and on the CDIL Web Site/CD are believed to be accurate and reliable. CDIL however, does not assume responsibility for inaccuracies or incomplete information. Furthermore, CDIL does not assume liability whatsoever, arising out of the application or use of any CDIL product; neither does it convey any license under its patent rights nor rights of others. These products are not designed for use in life saving/support appliances or systems. CDIL customers selling these products (either as individual Semiconductor Devices or incorporated in their end products), in any life saving/support appliances or systems or applications do so at their own risk and CDIL will not be responsible for any damages resulting from such sale(s).

CDIL strives for continuous improvement and reserves the right to change the specifications of its products without prior notice.



CDIL is a registered Trademark of  
Continental Device India Limited

C-120 Naraina Industrial Area, New Delhi 110 028, India.

Telephone + 91-11-2579 6150, 4141 1112 Fax + 91-11-2579 5290, 4141 1119

email@cdil.com www.cdilsemi.com

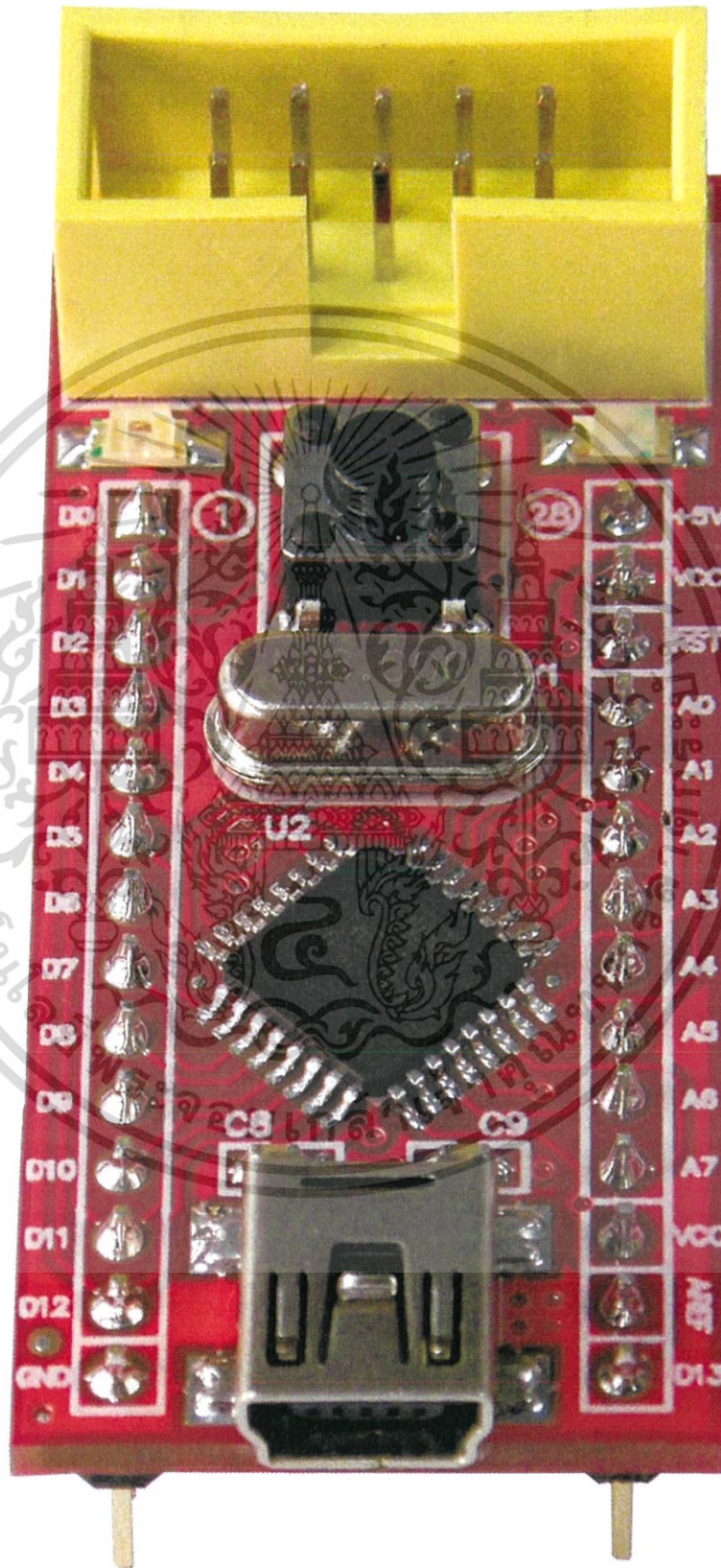
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาคู่เท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-EASY168 STAMP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

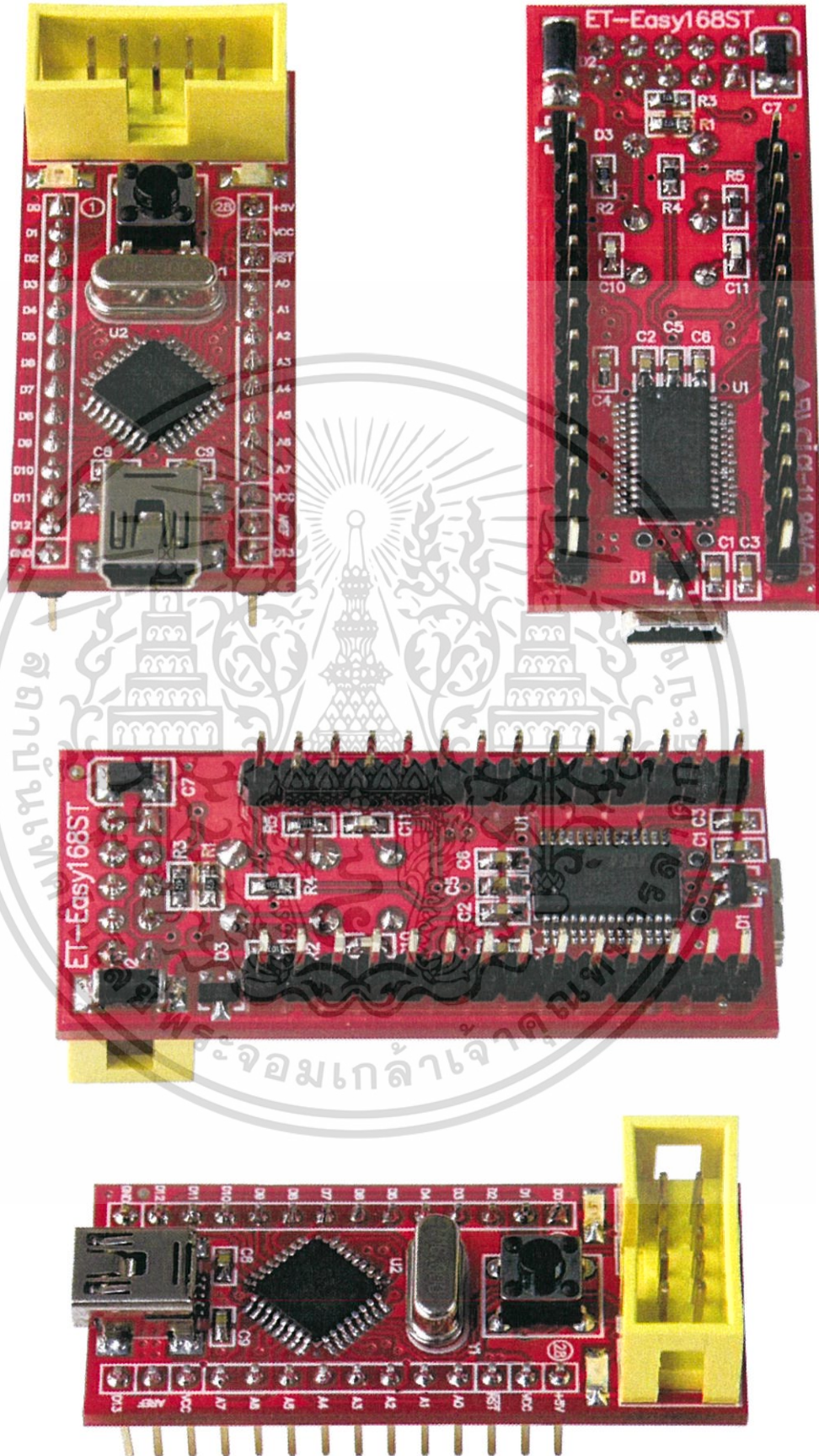
ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว โดยมีขนาดของบอร์ดเพียง 2cm x 5cm เท่านั้น ซึ่งขนาดบอร์ด ประมาณเท่ากับตัวถังของไอซี 28 DIP 300 โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้ MCU ที่มีรูปร่างตัวถังแบบ 32 TQFP พร้อมวงจรรอบนอกที่จำเป็นอย่าง Oscillator และ Reset รวมไว้ด้วยภายในบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง

ทำให้บอร์ด ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดทดลองขนาดเล็กที่เพียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 อย่างแท้จริง เพียงแค่เสียบสาย USB จากพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว USB ของบอร์ด ET-EASY168 STAMP ก็สามารถทำการเขียนโปรแกรม และ Download Code ให้กับ MCU เพื่อทำการทดลองได้ทันที

### คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
  - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16KByte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
  - มี SRAM ใช้งานขนาด 1KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
  - มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
    - Digital GPIO จำนวน 14 บิต
    - Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 8 ช่อง
- ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USB และจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
- มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
- ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54mm(100mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ14Pin) ระยะห่าง 600mil(1.5cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และ ขยายวงจร I/O สามารถใช้กับ Project Board และ PCB เอนกประสงค์ได้โดยง่าย
- มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
- มีขั้ว AVRISP แบบ IDE 10PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ดในกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
- มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็น

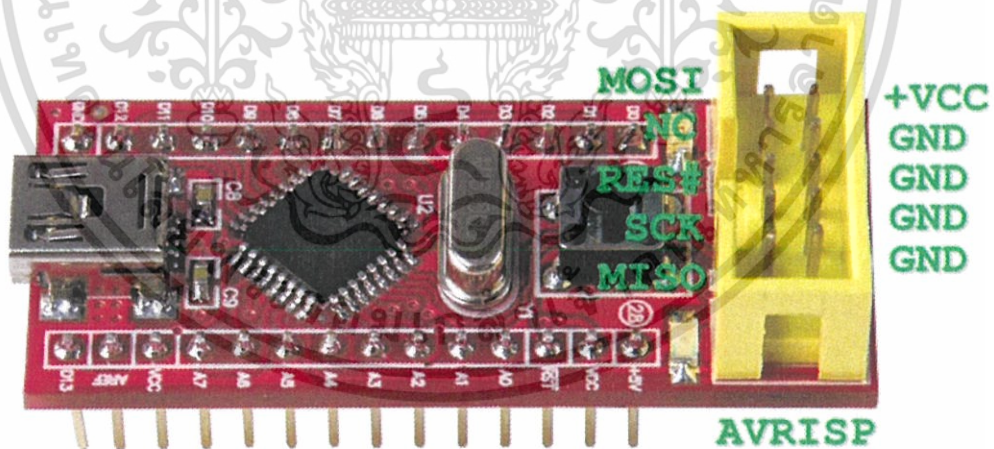
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ ETT CO.,LTD. ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปภาพแสดง ลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVR	Arduino	Pin	ET-EASY168 STAMP	Pin	Arduino	AVR
PD0	Digital-0	1		28	+5V(+Vin)	+5V(+Vin)
PD1	Digital-1	2		27	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PD2	Digital-2	3		26	RESET#	RESET(PC6)
PD3	Digital-3	4		25	Analog-0	PC0/ADC0
PD4	Digital-4	5		24	Analog-1	PC1/ADC1
PD5	Digital-5	6		23	Analog-2	PC2/ADC2
PD6	Digital-6	7		22	Analog-3	PC3/ADC3
PD7	Digital-7	8		21	Analog-4	PC4/ADC4
PB0	Digital-8	9		20	Analog-5	PC5/ADC5
PB1	Digital-9	10		19	Analog-6	ADC6
PB2	Digital-10	11		18	Analog-7	ADC7
PB3	Digital-11	12		17	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PB4	Digital-12	13		16	+AREF	+AREF
GND	GND	14		15	Digital-13	PB5

ตารางแสดง การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP



AVR	Arduino	Pin	AVRISP	Pin	Arduino	AVR
PB3	Digital-11	MOSI		+VCC	+VCC	+VCC
-	-	NC		GND	GND	GND
RES#	RES#	RES#		GND	GND	GND
PB5	Digital-13	SCK		GND	GND	GND
PB4	Digital-12	MISO		GND	GND	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “Arduino Project”

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา +VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีที่ต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”
- Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- Analog[0..7] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

### หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “AVR Micro Controller”

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา +VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีที่ต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”
- PB[0..5] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PD[0..7] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PC[0..5] เป็นขา I/O ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง Digital และ Analog Input
- ADC6,ADC7 เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

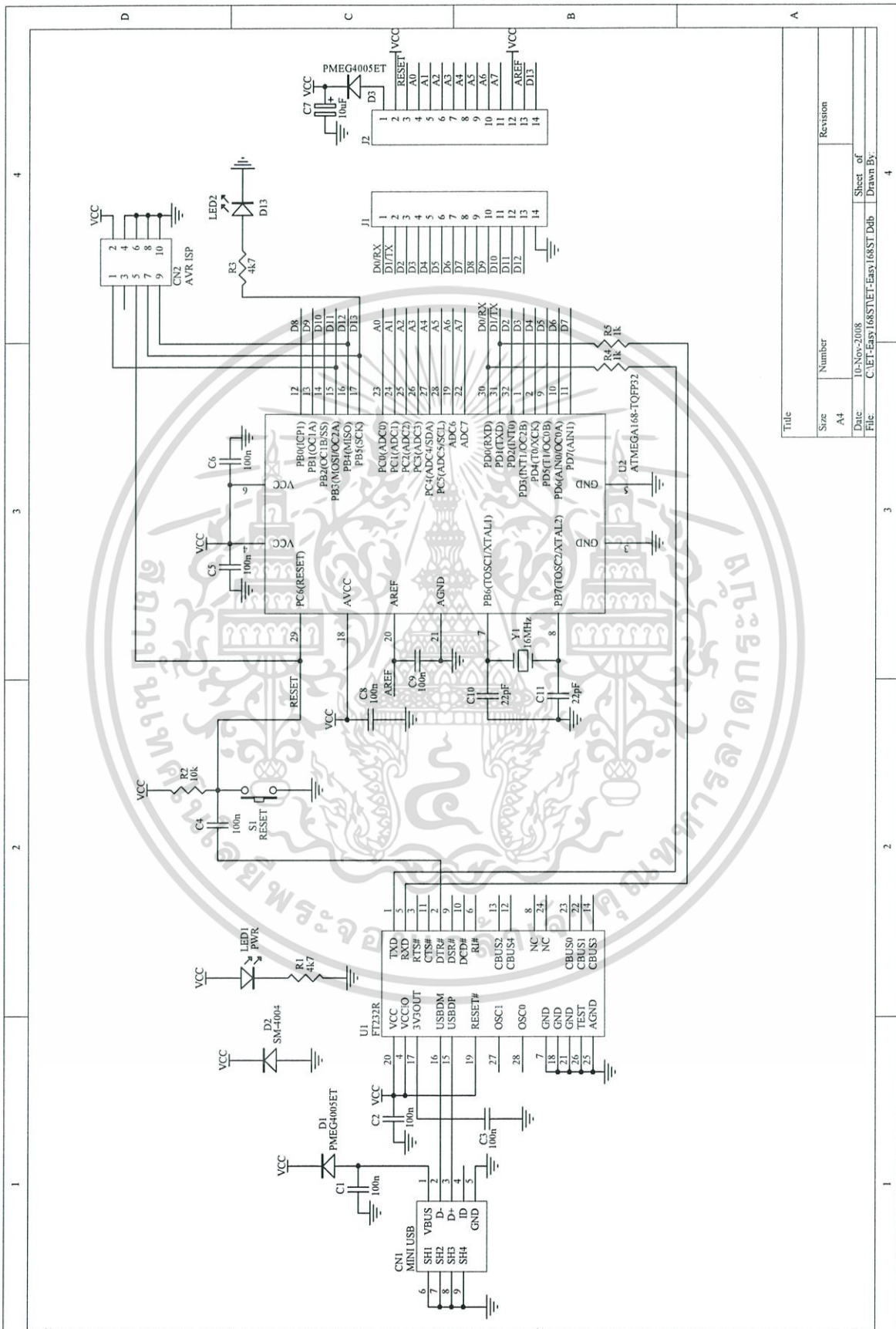
## การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

ในการพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-EASY168 STAMP นั้น ผู้ใช้สามารถเลือกใช้วิธีการพัฒนาโปรแกรมได้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

- AVR Micro Controller เป็นการพัฒนาโปรแกรมตามรูปแบบของ AVR Micro Controller ปรกติ ซึ่งสามารถเลือกใช้โปรแกรมภาษาใดก็ได้ที่รองรับการใช้งานร่วมกับ AVR เบอร์ ATmega168 ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้โปรแกรมในการพัฒนาได้ตามความถนัด เช่น ภาษาเบสิก BASCOM-AVR หรือ ภาษาซี เช่น Code Vision และ WinAVR เป็นต้น
- Arduino Project เป็นการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมและชุดคำสั่งในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี (C++) ของ “Arduino Project” ซึ่งเป็นโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR แบบ Open Source ซึ่งกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นโครงการที่เปิดเผยทั้ง Source Code ในการพัฒนาให้ทั้งหมดและยังมีตัวอย่างโครงงานพร้อมตัวอย่างโปรแกรมการทดลองต่างๆ แจกจ่ายให้ผู้สนใจนำมาใช้ศึกษา เรียนรู้และทดลอง ได้ฟรี โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ผู้สนใจสามารถเข้าไปค้นหารายละเอียดต่างๆ ของ Arduino Project นี้ได้ <http://www.arduino.cc/>

\*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	Revision
Size	Number
A4	
Date	10-Nov-2008
File	C:\ET-Easy\168ST\ET-Easy\168ST.Ddb
Sheet of	Drawn By:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มีอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ว่าการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้