

อกิั่นทนาการ



สำนักหอสมุด



ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR AN ELECTRIC IRON PLATE



นายณัฐพงษ์ จันทิมา รหัส 52361758  
นายอมร ตริคณา รหัส 52362342

17195357

ปร.  
น 339 8  
2558

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน..... 10 ต.ค. 2560.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

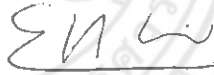
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ปีการศึกษา 2558




## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด  
ผู้ดำเนินโครงการ นายณัฐพงษ์ จันทิมา รหัส 52361758  
นายอมร ตริตุนา รหัส 52362342  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมน  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มมน)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรณัน)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ)

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด  
ผู้ดำเนินโครงการ นายณัฐพงษ์ จันทิมา รหัส 52361758  
นายอมร ตริ์คณา รหัส 52362342  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แยมเม่น  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2558

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดในการแก้ไขปัญหาการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีดไม่คงที่ ระบบควบคุมอุณหภูมินี้เริ่มต้นจากการใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลข้อมูลต่อมาได้สร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมอุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ป้องกันให้กับขดลวดความร้อนในการถ่ายเทความร้อนไปยังแผ่นรองพื้นเตารีดตามที่ปรับตั้งอุณหภูมิไว้

จากผลการทดสอบการใช้เตารีดไฟฟ้าพบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดได้ตามความต้องการของผู้ใช้ 3 ระดับ คือ ระดับ 1 อุณหภูมิมากกว่า 80 ถึง 110 องศาเซลเซียส ระดับ 2 อุณหภูมิมากกว่า 110 ถึง 150 องศาเซลเซียส และระดับ 3 อุณหภูมิมากกว่า 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมอุณหภูมิกับเตารีดไฟฟ้าแบบดั้งเดิมขณะมีการใช้งานที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันพบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นสามารถลดค่าของอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งาน และลดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีด

**Project title**                    Temperature Control System for an Electric Iron Plate  
**Name**                                Mr.Nutthapong Jantima      ID.52361758  
    Mr. Amorn      Treetuna      ID.52362342  
**Project advisor**                Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.  
**Major**                                Electrical Engineering  
**Department**                    Electrical and Computer Engineering  
**Academic year**                2015

---

### **Abstract**

In this project, a temperature control system was designed and developed for electric iron plate in order to solve the swing of the average temperature of the iron plate. The developed system consists of thermistor measuring temperature of the iron plate, sending data to the microcontroller for processing, and creating the pulse signal for controlling the amount of electrical energy of the iron plate as the temperature setting value.

From the test result, it shows that this system was able to control the temperature in 3 levels which were level 1(80c – 110c), level 2 (110c -150c) and level 3 (150c- 200c). When comparing with the original temperature control system with similar temperature, it was noted that the developed system can reduce the peak of temperature while it is used in the first time interval and also reduced the swing of the average temperature of the iron plate.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตร์ และดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ ซึ่งเป็นคนละครรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้มอบความรักความเมตตากรุณา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฐพงษ์ จันทิมา

นายอมร ศรีตุนา

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของงาน.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท.....	4
2.2 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	6
2.3 สมการ Steinhart–Hart.....	8
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	9
2.5 ภาษาซี.....	11
2.6 หลักการสร้างสัญญาณ PWM.....	19
2.7 ออปโตคัปเปลอร์.....	20
2.8 มอสเฟต.....	22
2.9 การศึกษาการใช้งานโปรแกรม PLX DAQ.....	24
2.10 จอแสดงผลแอลซีดี.....	25

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	26
3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท .....	26
3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	26
3.3 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี.....	27
3.4 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ a ,b และ c ของเทอร์มิสเตอร์ ในสมการ Steinhart–Hart .....	27
3.5 ออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	27
3.6 นำวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์มาประกอบเป็นชิ้นงาน .....	28
3.7 ทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	29
3.8 ออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด .....	29
3.8.1 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU .....	29
3.8.2 วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า .....	30
3.9 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม PLX-DAQ.....	31
3.10 ออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด.....	31
3.11 นำวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดมาประกอบเป็นชิ้นงาน .....	34
3.12 ทดสอบวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด .....	34
3.13 ออกแบบการทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท .....	34
3.14 ออกแบบการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด..	35
3.15 วิเคราะห์ผลการทดสอบ .....	35
3.16 สรุปผลการทดลอง .....	36
3.17 จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์.....	36
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	37
4.1 ผลค่าสัมประสิทธิ์ a ,b และ c ของเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ในสมการ Steinhart–Hart....	37
4.2 ผลการทดสอบวงจรย่อยของการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิ สำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด .....	40
4.2.1 การทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ .....	40
4.2.2 ทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า .....	42

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทขณะ ไม่มีการใช้งาน .....	47
4.4 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทขณะ มีการใช้งาน .....	48
4.5 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ขณะไม่มีการใช้งาน.....	50
4.6 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ขณะมีการใช้งาน .....	51
4.7 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงาน ไฟฟ้าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิ ของแผ่นรองพื้นเตารีด ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทขณะไม่มีการใช้งาน .....	53
4.8 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบ เทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดขณะมีการใช้งาน .	57
4.9 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบ เทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดที่อุณหภูมิ ใกล้เคียงกันขณะมีการใช้งาน .....	61
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>65</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	65
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	66
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ.....	66



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง .....	67
ภาคผนวก ก รายละเอียด เทอร์มิสเตอร์(Thermistor) .....	68
ภาคผนวก ข รายละเอียด บอร์ด อาร์ดูไอโน่ ดูเอมิลาร์นูฟ .....	86
ภาคผนวก ค รายละเอียด LCD .....	91
ภาคผนวก ง รายละเอียด diodes .....	101
ภาคผนวก จ รายละเอียด irf 470 .....	108
ภาคผนวก ฉ รายละเอียด PC817 .....	111
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	115



## สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	10
2.2 ชนิดของตัวแปรในภาษาซี .....	12
2.3 แสดงตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์.....	13
2.4 แสดงตัวดำเนินการเปรียบเทียบ .....	14
2.5 แสดงตัวดำเนินการทางตรรกะ.....	14
2.6 แสดงตัวดำเนินการกำหนดค่า.....	15
2.7 แสดงลำดับการทำงานของตัวดำเนินการ .....	16
3.1 การทำงาน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1.....	32
3.2 การทำงาน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2.....	32
3.3 การทำงาน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3.....	33
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ.....	37
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิที่คำนวณได้ .....	38
4.3 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 1 .....	54
4.4 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 2 .....	55
4.5 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 3 .....	56
4.6 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 1 .....	58
4.7 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 2 .....	59
4.8 เทอร์มิสตัทท์เปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 3 .....	60
4.9 เทอร์มิสตัทท์ (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 1 .....	62
4.10 เทอร์มิสตัทท์ (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 2 .....	63
4.11 เทอร์มิสตัทท์ (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 3 .....	64

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์มิสเตอร์.....	4
2.2 สัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์ .....	6
2.3 แสดงการทำงานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC และ NTC.....	7
2.4 วงจรการใช้งานเทอร์มิสเตอร์ SCK15075.....	7
2.5 รูปแบบโครงสร้างของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU .....	10
2.6 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเงื่อนไขหรือค่าของนิพจน์ที่ตรวจสอบเป็นจริงก็จะเลือกกระทำ ชุดคำสั่งหนึ่งแล้วไปกระทำตามคำสั่งต่อไป แต่ถ้าค่าของนิพจน์เป็นเท็จก็ไม่ทำชุดคำสั่งใดๆ ในทางเลือกเลย แต่ให้ไปทำชุดประโยคคำสั่งต่อไป.....	17
2.7 เป็นการเลือกทำชุดคำสั่ง A หรือชุดคำสั่ง B ดังนี้ ถ้าเงื่อนไขการตรวจสอบเป็น "จริง" จะไปทำ สายงานในชุดประโยคคำสั่ง A แล้วไปทำชุดประโยคคำสั่ง C ต่อ แต่ถ้าเงื่อนไข การตรวจสอบเป็น "เท็จ"จะไปทำสายงานในชุดประโยคคำสั่ง B แล้วไปทำชุดประโยคคำสั่ง C ต่อไป.....	18
2.8 วงจร PWM แบบอนาล็อก .....	19
2.9 การสร้างสัญญาณ PWM.....	19
2.10 คิวคี่ไซเคิลเทียบกับเลขทางดิจิทัล.....	20
2.11 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง ชนิด NPN Optocoupler .....	21
2.12 สัญลักษณ์ในทางดิจิทัล.....	23
2.13 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของ MOSFET ทั้งสองชนิด .....	23
2.14 หน้าต่างโปรแกรม .....	24
2.15 จอแอลซีดี .....	25
3.1 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์มิสเตอร์.....	27
3.2 วงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ .....	28
3.3 ลายปรี้นวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	29
3.4 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU .....	30
3.5 วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า.....	31
3.6 ตำแหน่งอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า และการออกแบบ ลายทองแดง .....	34
4.1 เปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้ .....	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	ลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์..... 40
4.4	ตำแหน่งการติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์..... 41
4.5	ทำการวัดอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์เทอร์มิสเตอร์เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ..... 41
4.6	ลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า..... 42
4.7	เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty cycle 0 ..... 42
4.8	เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty cycle 30 ..... 43
4.9	เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty 50..... 43
4.10	เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty 98..... 44
4.11	ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 0..... 44
4.12	ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 30..... 45
4.13	ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 50..... 45
4.14	ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 98..... 46
4.15	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 47
4.16	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 47
4.17	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 48
4.18	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 1 ขณะมีการใช้งาน..... 48
4.19	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 2 ขณะมีการใช้งาน ..... 49
4.20	เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 3 ขณะมีการใช้งาน..... 49
4.21	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 50
4.22	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 50
4.23	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งาน ..... 51
4.24	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1 ขณะมีการใช้งาน ..... 51
4.25	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2 ขณะมีการใช้งาน ..... 52
4.26	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3 ขณะมีการใช้งาน ..... 52
4.27	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบ ควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 1 ..... 53
4.28	ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบ ควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 2..... 54

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 3 .....	55
4.30 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 1 .....	57
4.31 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 2 .....	58
4.32 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 3 .....	59
4.33 เทอร์โมสตัท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 1 .....	61
4.34 เทอร์โมสตัท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 2 .....	62
4.35 เทอร์โมสตัท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 3 .....	63



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเตารีดไฟฟ้าทั่วไปใช้เทอร์โมสแตทในการควบคุมอุณหภูมิแผ่นรองพื้นเตารีด โดยอาศัยคุณสมบัติการโค้งงอของโลหะ โลหะจะทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีด

เมื่อมีการปรับตั้งอุณหภูมิ ตัวปรับตั้งจะกดให้หน้าสัมผัสด้านบนและด้านล่างแตะกัน กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านหน้าสัมผัสทั้งสองเข้าหลอดความร้อน เมื่อหลอดความร้อนได้รับกระแสไฟฟ้า จะเกิดความร้อนขึ้น ทำให้แผ่นรองพื้นเตารีดมีความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับแผ่นโลหะ เมื่อแผ่นโลหะมีความร้อนจนถึงจุดโค้งงอ สกรูทองเหลืองกั้นกระเบื้องที่ติดปลายแผ่นโลหะก็จะกดหน้าสัมผัสด้านล่าง ทำให้หน้าสัมผัสทั้งสองแยกออกจากกัน กระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลผ่านไปยังหลอดความร้อนและความร้อนของแผ่นรองพื้นเตารีดจะลดลง เมื่อความร้อนลดลงแผ่นโลหะก็จะกลับสู่สภาพเดิม หน้าสัมผัสด้านล่างจะกลับขึ้นไปแตะกับหน้าสัมผัสด้านบนจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังหลอดความร้อน

จากการทำงานของเทอร์โมสแตท โดยอาศัยคุณสมบัติการโค้งงอของโลหะ จะทำให้เกิดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีดไม่คงที่ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดแทนเทอร์โมสแตท

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดโดยใช้มอสเฟต

1.2.2 สามารถลดอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดในช่วงเริ่มการใช้งาน และลดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีด

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ควบคุมอุณหภูมิแผ่นรองพื้นเตารีดได้ 3 ระดับ คือ ระดับ 1 อุณหภูมิมากกว่า 80 ถึง 110 องศาเซลเซียส ,ระดับ 2 อุณหภูมิมากกว่า 110 ถึง 150 องศาเซลเซียส และระดับ 3 อุณหภูมิมากกว่า 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส

1.3.2 ใช้เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ยี่ห้อ INTERNATIONAL รุ่น JP 87 กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ นำมาประยุกต์ร่วมกับวงจรควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

1.3.3 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงาน

1.3.4 ใช้หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ SCK15075

1.3.5 ใช้ทรานซิสเตอร์มอสเฟส IRF 740 เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้า

1.3.6 ใช้ออปโตคัปเปอเรเตอร์ PC817 เป็นสวิตซ์ เปิด/ปิด แรงดันไฟฟ้าตามสัญญาณพัลส์

#### 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2558				ปี 2559		
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→						
2) ศึกษาเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท		←→					
3) หาค่าสัมประสิทธิ์ a, b และ c ของเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ในสมการ Steinhart-Hart				←→			
4) ออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์				←→			
5) นำมาประกอบเป็นชิ้นงาน				←→			
6) ทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์				←→			
7) ออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ					←→		
8) ออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด					←→		
9) นำมาประกอบเป็นชิ้นงาน					←→		
10) ทดสอบวงจรควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ					←→		

รายละเอียด	ปี 2558				ปี 2559		
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
11) เก็บข้อมูลของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท					←→	←→	
12) เก็บข้อมูลการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด					←→	←→	
13) วิเคราะห์ผลการทดสอบ						←→	
14) สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์						←→	←→

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.5.1 เพิ่มทักษะนิสิต ในการใช้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับ โปรแกรมภาษาซี

1.5.2 เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ จากกระแสไฟฟ้า

1.5.3 ลดความเสียหายของเนื้อผ้า

1.5.3 สามารถนำระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น

### 1.6 งบประมาณ

1.6.1 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และอิเล็กทรอนิกส์ 400 บาท

1.6.2 เตารีด ขนาด 1000 วัตต์ 220 โวลต์ 400 บาท

1.6.3 ค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลอง 500 บาท

1.6.4 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์ 700 บาท

1.6.5 รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน) 2,000 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



## บทที่ 2

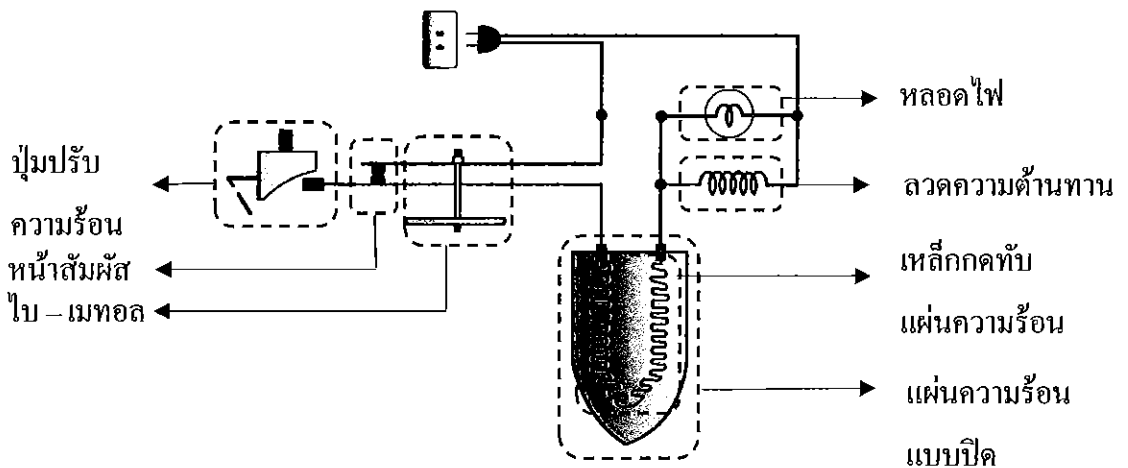
### หลักการและทฤษฎี

ในการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดโดยใช้มอสเฟต เพื่อลดอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดในช่วงเริ่มการใช้งาน และลดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีดได้

ผู้จัดทำโครงการนี้ได้ศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีเกี่ยวข้อง โดยเริ่มจาก เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ สมการ Steinhart-Hart ไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาษาซี หลักการสร้างสัญญาณ PWM ออปโตคัปเปิลอร์ มอสเฟต โปรแกรม PLX DAQ จอแอลซีดี โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท (Automatic Electric Irons)

เตารีดชนิดนี้เป็นเตารีดไฟฟ้าที่มีเครื่องปรับอุณหภูมิหรือเทอร์โมสแตท (Thermostat) สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับผ้าที่ต้องการรีด การทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าเตารีดไฟฟ้านั้นจะผ่านไปยังหน้าสัมผัส ลวดความร้อนและลวดความต้านทานตามลำดับ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่แผ่นความร้อน ส่งผ่านความร้อนลงสู่พื้นของเตารีดและแผ่น โลหะ (bi-metal) ที่ยึดติดกับพื้นเตารีด เมื่อโลหะได้รับความร้อน ก็จะเกิดการงอตัวตามปริมาณความร้อนที่ได้รับ ส่งผลให้แรงกดระหว่างหน้าสัมผัสน้อยลง ทำให้หน้าสัมผัสแยกจากกันตัดกระแสไฟไม่ให้ไหลผ่านแผ่นความร้อน เตารีดจึงเย็นลงจากนั้นแผ่นโลหะก็จะเริ่มเหยียดตรงตามเดิม สำหรับโครงการนี้เลือกใช้เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ยี่ห้อ INTERNATIONAL รุ่น JP 87 ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท

เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆดังนี้

2.1.1 มือจับ (Handle) มือจับเป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนแพร่กระจายมาที่มือขณะที่รีดผ้า มือจับทำด้วยพลาสติกทนความร้อน ที่มือจับจะมีปุ่มปรับความร้อนอยู่และมีเลนซ์ของหลอดแสดงการทำงานของเตารีดด้านข้าง ตลอดจนมีป้ายบอกคุณสมบัติของเตารีดหรือที่เรียก เนมเพลท (Name Plate) อยู่ด้วย

2.1.2 ฝาครอบ (Cover) ฝาครอบทำหน้าที่ในการปกปิดชิ้นส่วนที่อยู่ข้างในและป้องกันไม่ให้ผู้สัมผัสซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายได้ ฝาครอบทำ ด้วยเหล็กชุบโครเมียม (Chromium)

2.1.3 เหล็กกดทับแผ่นความร้อน ( Pressure Plate) เหล็กกดแผ่นความร้อนทำหน้าที่กดแผ่นความร้อนให้แนบกับพื้นเตารีดเพื่อให้ความร้อนจากแผ่นความร้อนผ่านไปยังพื้นเตารีด แผ่นกดทับแผ่นความร้อนจะมีน้ำหนักให้กับเตารีดเวลารีดผ้าจะทำให้ผ้าเรียบขึ้น

2.1.4 หน้าสัมผัส (Contact) หน้าสัมผัสจะยึดติดอยู่กับแผ่นรีด หน้าสัมผัสทำหน้าที่เป็นสวิตช์อัตโนมัติตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังแผ่นความร้อน โดยหน้าสัมผัสจะถูกควบคุมด้วยไบ-เมทอลอีกทีหนึ่ง

2.1.5 ไบ-เมทอล (Bimetal) ไบ-ทอลติดอยู่ที่พื้นของเตารีดทำหน้าที่ควบคุมความร้อนของเตารีดที่ตั้งไว้เมื่อความร้อนได้ถึงที่ตั้งไว้ไบ-เมทอลจะงอตัวดันให้หน้าสัมผัสเปิดออก เมื่อเย็นตัวหน้าสัมผัสจะกลับสภาพเดิม

2.1.6 แผ่นความร้อนแบบปิด (Closing Heating Element) แผ่นความร้อนที่ใช้จะหล่อติดอยู่กับพื้นของเตารีด เมื่อแผ่นความร้อนขาดจะต้องเปลี่ยนทั้งพื้นเตารีด โดยทั่วไปแล้วจะทนมากแต่สิ้นเปลืองพลังงานมาก

2.1.7 แผ่นรองพื้นเตารีด พื้นเตารีดทำมาจากเหล็กชุบโครเมียม ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากแผ่นความร้อนไปยังผ้าที่รีด

2.1.8 แผ่นตั้งเตารีด ( Heel Plate) แผ่นตั้งเตารีดทำมาจากโลหะอลูมิเนียม ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากพื้นเตารีดแผ่นตั้งเตารีดจะเกิดความร้อนน้อยมากที่แผ่นตั้งเตารีดอาจมีรายละเอียด เช่น ยี่ห้อนูน ขนาดแหล่งจ่ายที่ใช้ กำลังวัตต์ที่ใช้ น้ำหนักของเตารีด สถานที่ผลิต และมาตรฐานอุตสาหกรรม เป็นต้น

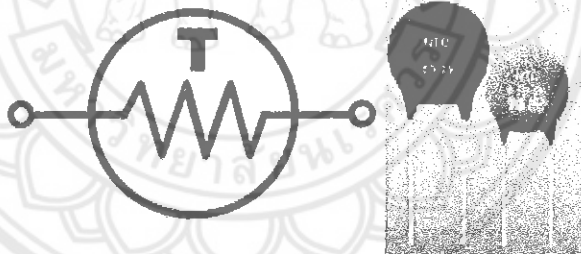
2.1.9 หลอดไฟ (Indicator Lamp) และฝาครอบท้ายเตารีด (End Cover) หลอดจะประกอบอยู่ที่ฝาครอบท้ายเตารีดที่ฝาครอบเตารีดจะมีขั้วโลหะต่อกับหลอดไฟอยู่ 2 ขั้วต่อกับหลักที่ต่อลวดความต้านทาน ดังนั้นเท่ากับหลอดไฟจะต่อขนานกับลวดความต้านทานลวดความต้านทานก็จะ

จ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมให้กับหลอดไฟหลอดไฟที่ใช้ จะมีแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ หรือ 2.5 โวลต์ ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ตกคร่อมหลอดด้านทาน

**2.1.10 หลอดความต้านทาน (Lamp Resistor)** หลอดความต้านทานนี้จะต่ออยู่กับแผ่นความร้อน ซึ่งถ้ามีกระแสไหลผ่านหลอดความต้านทานจะมีกระแสไหลผ่านด้วยและหลอดไฟมาคือแบบขนานกับหลอดความต้านทานก็จะทำให้หลอดสว่างด้วยแต่เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านหลอดไฟก็จะดับ

## 2.2 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature-sensing) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ เช่น แมงกานีส, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดงและยูเรเนียม เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ โดยใช้ตัวย่อ “TH” ซึ่งมีสัญลักษณ์และลักษณะ แสดงดังรูปที่ 2.2

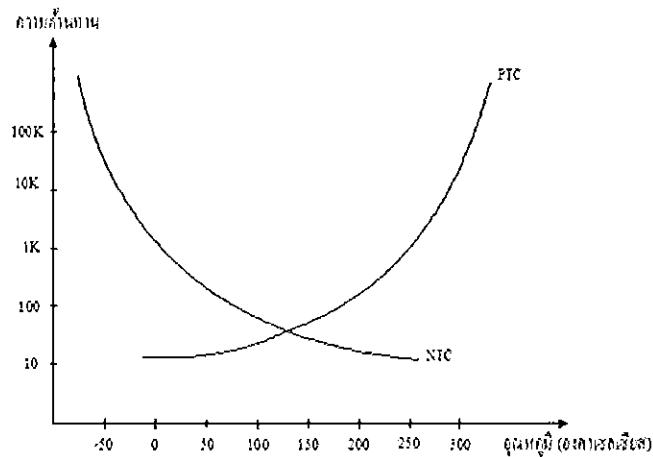


รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์

โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทคือ

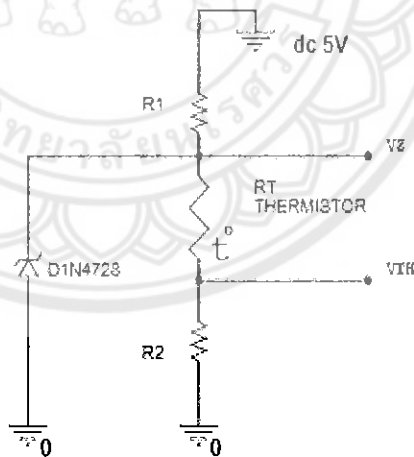
1. แบบ Positive Temperature Coefficients (PTC)
2. แบบ Negative Temperature Coefficients (NTC)

เทอร์มิสเตอร์สองประเภทนี้ซึ่งมีคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกันกล่าวคือแบบ PTC จะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่เรียกว่า knee หรือ จุดช่วงที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ตัด-ต่อวงจร (switching point) ส่วน NTC จะตรงกันข้ามคือค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC และ NTC

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูงในการตรวจจับอุณหภูมิ (ความละเอียดของเทอร์มิสเตอร์จะขึ้นอยู่กับโมดูลและรายละเอียดของผู้ผลิตอุปกรณ์ยี่ห้อต่างๆ) แต่อย่างไรก็ตามเทอร์มิสเตอร์จะค่อนข้างมีข้อจำกัดเกี่ยวกับย่านการตรวจจับอุณหภูมิ (โดยทั่วไปจะมีย่านการใช้งานปกติที่  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100^{\circ}\text{C}$ ) และคงทนต่อสภาวะทางเคมี ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานนานๆ โดยจะเลือกใช้งานเทอร์มิสเตอร์เบอร์ SCK15075 มีวงจรการใช้งานดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรการใช้งานเทอร์มิสเตอร์ SCK15075

เทอร์มิสเตอร์จะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยจากรูปที่ 2.4 จะหาค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ได้จาก

$$R = \frac{V_{th} + R_2}{V_z - V_{th}} \quad (2.1)$$

- เมื่อ  $V_z$  คือ ซีเนอร์ไดโอดขนาด 3.3 โวลต์  
 $V_{th}$  คือ โวลต์ของเทอร์มิสเตอร์  
 $R$  คือ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในโครงการ

สำหรับโครงการนี้จะใช้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC รุ่น SCK15075 ซึ่งมี Data sheet แสดงคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตร
- มีช่วงอุณหภูมิในการทำงานอยู่ที่  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $200^{\circ}\text{C}$
- มีค่าความต้านทาน ( $R_0$ )  $7\text{k } \Omega$  ที่อุณหภูมิ ( $T_0$ )  $25^{\circ}\text{C}$  มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 5-10%

### 2.3 สมการ Steinhart–Hart

สมการ Steinhart–Hart เป็นสมการที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิ โดยจะคำนวณจากความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ในขณะใช้งานนำมาคำนวณในสมการ Steinhart–Hart จึงจะได้ค่าอุณหภูมิขณะนั้น

จากทฤษฎีของ Steinhart–Hart จะเป็นการสร้างแบบจำลองระหว่างความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ กับอุณหภูมิได้จาก

$$\frac{1}{T_T} = a + b \ln(R) + c (\ln(R))^3 \quad (2.2)$$

- เมื่อ  $T_T$  คือ อุณหภูมิ(เคลวิน)  
 $R$  คือ ความต้านทาน ที่อุณหภูมินั้นๆ (โอห์ม)  
 $a, b$  และ  $c$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิ

ในการหา ค่าสัมประสิทธิ์  $a, b$  และ  $c$  ที่ใช้ในสมการ Steinhart–Hart เราต้องรู้ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความต้านทานโดยจะหาได้จาก

$$\left( \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{1}{T_{T1}} \\ \frac{1}{T_{T2}} \\ \vdots \\ \frac{1}{T_{T17}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.1) และ (2.2) จะได้สมการหาค่าอุณหภูมิ

$$T_t = \frac{1}{a+b\left(\ln\left(\frac{V_{th} \times R_2}{V_Z - V_{th}}\right)\right) + c\left(\ln\left(\frac{V_{th} \times R_2}{V_Z - V_{th}}\right)\right)^3} \quad (2.4)$$

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือชิพประมวลผลชนิดหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่งโครงสร้างภายใน จะเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วย หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสข้อมูล บัสควบคุม บัสที่อยู่ พอร์ตขนาน พอร์ตอนุกรม รีจิสเตอร์ หน่วยความจำ วงจรนับ วงจรจับเวลาและวงจรอื่นๆ รวมกันอยู่ภายในชิพ ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่าย สามารถทำงานได้โดยใช้ชิพเดียว ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่โดยมากจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่นๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เตารีด ไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่ามีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานควบคุมหลายประการ เช่น ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์ วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุม โดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย ช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาระบบได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างอันได้แก่ หน่วยความจำภายใน จำนวนขา จำนวนพอร์ต และรวมถึงความเร็วการประมวลผลที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งาน จึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้หรือความเหมาะสมของงาน ในโครงการนี้ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้ Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU มีคุณสมบัติดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เบอร์ ATmega328P ของแอทเมล (ATMEL) SRAM 2 กิโลไบต์ มีหน่วยความจำแฟลช (FLASH) 16 กิโลไบต์ EEPROM 1 กิโลไบต์ ใช้งานที่ความถี่ 16.00 เมกะเฮิร์ตซ์ มีขาทั้งหมด 28 ขา โดยมีขา I/O ใช้งาน 22 ขา เป็นดิจิตอลจำนวน 14 ขา มีขาทั้งหมด 28 ขา โดยมีขา I/O ใช้งาน 22 ขา เป็นดิจิตอลจำนวน 14 ขา และเป็น A TO D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ขา เพาเวอร์ซัพพลายต่อใช้งาน 5 โวลต์ มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5

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

รูปที่ 2.5 รูปแบบโครงสร้างของขาไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU

จากรูปที่ 2.5 สามารถเลือกใช้งาน Port หรือ ขา ของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการทำงานแต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์

ขา	หน้าที่การทำงาน	ขาที่ใช้
VCC	แรงดันคิติดอก	7
GND	สำหรับต่อลงกราวด์	8,22
Port B (P0-P7)	สวิตซ์กดระดับการทำงาน	P1(14)
XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	สร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุม อุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับ เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทใช้	P0(15)
Port C (P0-P5)	อินพุตวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัด อุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์	P0(23),P1 (24)
	แสดงข้อมูลของอุณหภูมิและระดับการทำงาน ของระบบควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับเตารีดไฟฟ้า แบบเทอร์โมสแตทบนหน้าจอ LCD	P3(26),P4 (27),P5(ขา28)
Port D(P0-P7)	แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 1	P1(3)
	แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 2	P2(4)
	แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 3	P3(5)
	สวิตซ์เพิ่มระดับการทำงาน	P7(13)

จากตารางที่ 2.1 การทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Port B P1(ขา 14 เป็นสวิตช์ลดระดับการทำงาน), P0 (ขา 15 เพื่อสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับเตาไร้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติใช้) Port C P0, P1 (ขา 23,24 เป็นอินพุตวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มิสเตอร์), P3, P4, P5 (ขา 26,27,28 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิและระดับการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทบนหน้าจอ LCD) Port D P1 (ขา 1 แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 1) ,P2 (ขา 2 แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 2) ,P3 (ขา 13 แสดงการทำงานของ LED ที่ระดับ 3) และ P7 (ขา 13 เป็นสวิตช์เพิ่มระดับการทำงาน)

## 2.5 ภาษาซี (C Programming Language)

ภาษาซี (C Programming Language) คือ ภาษาที่ถือว่าเป็นทั้งภาษาระดับสูงและระดับต่ำ ถูกพัฒนาโดยเคนนิส ริตชี (Dennis Ritchie) แห่งห้องทดลองเบลล์ (Bell laboratories) ที่เมอร์ริลล์ มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ โดยเคนนิสได้ใช้หลักการของภาษา บีซีพีแอล (BCPL : Basic Combine Programming Language) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยเคน ทอมสัน (Ken Thomson) การออกแบบและพัฒนาภาษาซีของเคนนิส ริตชี มีจุดมุ่งหมายให้เป็นภาษาสำหรับใช้เขียนโปรแกรมปฏิบัติการระบบยูนิกซ์ และได้ตั้งชื่อว่า ซี (C) เพราะเห็นว่า ซี (C) เป็นตัวอักษรต่อจากบี (B) ของภาษา BCPL ภาษาซีถือว่าเป็นภาษาระดับสูงและภาษาระดับต่ำ ทั้งนี้เพราะ ภาษาซีมีวิธีใช้ข้อมูลและมีโครงสร้างการควบคุมการทำงานของโปรแกรมเป็นอย่างเดียวกับภาษาของโปรแกรมระดับสูงอื่นๆ จึงถือว่าเป็นภาษาระดับสูงในด้านที่ถือว่าภาษาซีเป็นภาษาระดับต่ำ เพราะภาษาซีมีวิธีการเข้าถึงในระดับต่ำที่สุดของฮาร์ดแวร์ ความสามารถทั้งสองด้านของภาษานี้เป็นสิ่งที่เกื้อหนุนซึ่งกันและกัน ความสามารถระดับต่ำทำให้ภาษาซีสามารถใช้เฉพาะเครื่องได้ และความสามารถระดับสูง ทำให้ภาษาซีเป็นอิสระจากฮาร์ดแวร์ ภาษาซีสามารถสร้างรหัสภาษาเครื่องซึ่งตรงกับชนิดของข้อมูลนั้นได้เอง ทำให้โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซีที่เขียนบนเครื่องหนึ่ง สามารถนำไปใช้กับอีกเครื่องหนึ่งได้ ประกอบกับการใช้พอยน์เตอร์ในภาษาซี นับได้ว่าเป็นตัวอย่างที่ดีของการเป็นอิสระจากฮาร์ดแวร์เมื่อภาษาซีได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีผู้ผลิต compiler ภาษาซีออกมาแข่งขันกันมากมาย ทำให้เริ่มมีการได้ถูกเล่นต่างๆ เพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อของทาง American National Standard Institute (ANSI) จึงตั้งข้อกำหนดมาตรฐานของภาษาซีขึ้นเรียกว่า ANSI C เพื่อคงมาตรฐานของภาษาไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป



## โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี

โปรแกรมในภาษาซีทุกโปรแกรมจะประกอบด้วยฟังก์ชันอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันหลัก โดยโปรแกรมภาษาซีจะเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันหลักก่อน ในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบด้วย

1. **Function Heading** ประกอบด้วย ส่วนหลักชื่อฟังก์ชันและอาจมีรายการของ argument (บางคนเรียก parameter) อยู่ในวงเล็บ

2. **Variable Declaration** ส่วนประกาศตัวแปร สำหรับภาษาซี ตัวแปรหรือค่าคงที่ทุกตัวที่ใช้ในโปรแกรมจะต้องมีการประกาศก่อนว่าจะใช้งานอย่างไร จะเก็บค่าในรูปแบบใดเช่น integer หรือ real number สำหรับชนิดของตัวแปรในภาษาซี แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของตัวแปรในภาษาซี

ชนิดของตัวแปร	ขนาด (bits)	ขอบเขต	การใช้งาน
Char	8	-128 ถึง 127	ข้อมูลชนิดอักขระ ใช้เนื้อที่ 1 ไบต์
Unsigned char	8	0 ถึง 255	ข้อมูลชนิดอักขระ ไม่คิดเครื่องหมาย
Int	16	-32,768 ถึง 32,767	ข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม ใช้เนื้อที่ 2 ไบต์
Unsigned int	16	0 ถึง 65,535	จำนวนเต็ม ไม่คิดเครื่องหมาย
Short	8	-128 ถึง 127	ข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบสั้น ใช้เนื้อที่ 1 ไบต์
Unsigned short	8	0 ถึง 255	ข้อมูลจำนวนเต็มแบบสั้น ไม่คิดเครื่องหมาย
Long	32	-2,147,483,648 ถึง 2,147,483,649	ข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาว ใช้เนื้อที่ 4 ไบต์
Unsigned long	32	0 ถึง 4,294,967,296	ข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาว ไม่คิดเครื่องหมาย
Foat	32	$3.4 \times 10^{-38}$ ถึง $3.4 \times 10^{38}$	ข้อมูลชนิดเลขทศนิยม ใช้เนื้อที่ 4 ไบต์
Double	64	$3.4 \times 10^{-308}$ ถึง $3.4 \times 10^{308}$	ข้อมูลชนิดเลขทศนิยม ใช้เนื้อที่ 8 ไบต์
Long double	128	$3.4 \times 10^{-4032}$ ถึง $3.4 \times 10^{4032}$	ข้อมูลชนิดเลขทศนิยม ใช้เนื้อที่ 16 ไบต์

**3. Compound Statements** ส่วนของประโยคคำสั่งต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็นประโยคเชิงซ้อน (compound statement) กับ ประโยคนิพจน์ (expression statement) โดยประโยคเชิงซ้อนจะอยู่ภายในวงเล็บปีกกาคู่หนึ่ง {และ} โดยในหนึ่งประโยคเชิงซ้อน จะมีประโยคนิพจน์ที่แยกจากกันด้วยเครื่องหมาย semicolon (;) หลายๆ ประโยครวมกันและอาจมีวงเล็บปีกกาใส่ประโยคเชิงซ้อนย่อยเข้าไปอีกได้

**3.1 ตัวดำเนินการ (Operator)** การกำหนดตัวดำเนินการในภาษาซีนั้นมีหลายประเภทด้วยกัน ซึ่งแต่ละประเภทจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

### 3.1.1 ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Operator)

ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ใช้เป็นตัวเชื่อมในการเขียนโปรแกรมเพื่อหาผลลัพธ์จากการคำนวณซึ่งสามารถกระทำกับข้อมูลได้หลายรูปแบบ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์

ตัวดำเนินการ	ความหมาย	ตัวอย่าง
+	บวก (Addition)	$A + b$
-	ลบ (Subtraction)	$A - b$
*	คูณ (Multiplication)	$A * b$
/	หาร (Division)	$A / b$
%	หารเอาผลลัพธ์เฉพาะเศษ (Modulus)	$A \% b$
++	เพิ่มค่าขึ้น 1 ค่า (Increment)	$A++$
--	ลดค่าลง 1 ค่า (Decrement)	$A--$

### 3.1.2 ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ (Comparative Operator)

ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ คือ เครื่องหมายที่ใช้ในการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบในทางคณิตศาสตร์ โดยจะแสดงตารางที่ 2.4 ซึ่งผลลัพธ์ที่จะได้จะมี 2 กรณีคือ ถ้าถูกต้อง

หรือเป็นจริงจะมีค่าเป็น 1 ถ้าผิดหรือเป็นเท็จจะมีค่าเป็น 0 ผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าคงที่บูลีน (Boolean Constant) ดังนี้

$8 > 4$  ผลลัพธ์เป็นจริง ค่าคงที่บูลีนเป็น 1

$6 \leq 2$  ผลลัพธ์เป็นเท็จ ค่าคงที่บูลีนเป็น 0

$-2 > -6$  ผลลัพธ์เป็นจริง ค่าคงที่บูลีนเป็น 1

$A > a$  ผลลัพธ์เป็นจริง ค่าคงที่บูลีนเป็น 1 (เปรียบเทียบค่าตามรหัสแอสกี)

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวดำเนินการเปรียบเทียบ

ตัวดำเนินการ	ความหมาย	ตัวอย่าง
>	มากกว่า (Greater Than)	$a > b$
<	น้อยกว่า (Less Than)	$a < b$
>=	มากกว่าหรือเท่ากับ (Greater Than or Equal)	$a \geq b$
<=	น้อยกว่าหรือเท่ากับ (Less Than or Equal)	$a \leq b$
==	เท่ากับ (Equal)	$a == b$
!=	ไม่เท่ากับ (Not Equal)	$a != b$

### 3.1.3 ตัวดำเนินการทางตรรกะ (Logical Operator)

ตัวดำเนินการทางตรรกะคือ เครื่องหมายที่ใช้เชื่อมเงื่อนไข 2 เงื่อนไขหรือมากกว่า เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความละเอียดมากขึ้น แสดงตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงตัวดำเนินการทางตรรกะ

ตัวดำเนินการ	ความหมาย	ตัวอย่าง
&&	และ (and)	$Income \geq 5000 \&\& income \leq 10000$
	หรือ (or)	$Hour < 0 \ \  hour > 24$
!	ไม่ใช่ (not)	$! a \&\& ! b$

ตัวดำเนินการ && จะให้ผลลัพธ์เป็นจริงเมื่อเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริง แต่ถ้าเงื่อนไขใดเป็นเท็จหรือทั้งสองเงื่อนไขเป็นเท็จจะทำให้ผลลัพธ์เป็นเท็จ

ตัวดำเนินการ || จะให้ผลลัพธ์เป็นจริงเมื่อเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเป็นจริง หรือเป็นจริงทั้งสองเงื่อนไข แต่ถ้าเป็นเท็จทั้งสองเงื่อนไขจะทำให้ผลลัพธ์เป็นเท็จ

ตัวดำเนินการ ! จะให้ผลลัพธ์เป็นจริงเมื่อเงื่อนไขหลัง not เป็นเท็จ แต่ถ้าเงื่อนไขหลัง not เป็นจริงจะทำให้ผลลัพธ์เป็นเท็จ

### 3.1.4 ตัวดำเนินการกำหนดค่า (Assignment Operator)

ตัวดำเนินการกำหนดค่าใช้ในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรที่มีการคำนวณและนำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ยังตัวแปรอื่น แสดงตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงตัวดำเนินการกำหนดค่า

ตัวดำเนินการ	ความหมาย	ตัวอย่าง
=	การกำหนดค่าให้เท่ากับ (Assignment)	$a = b$
+=	การเพิ่มค่า (Addition)	$A += b$ มาจาก $a = a + b$
-=	การลบค่า (Subtraction)	$A -= b$ มาจาก $a = a - b$
*=	การคูณ (Multiply)	$A *= b$ มาจาก $a = a * b$
/=	การหารได้ผลลัพธ์จำนวนเต็ม (Devide)	$A /= b$ มาจาก $a = a / b$
%=	การหารได้ผลลัพธ์เศษ (Devide)	$A \% = b$ มาจาก $a = a \% b$
&=	ดำเนินการ bitwise and	$A \& = b$ มาจาก $a = a \& b$
=	ดำเนินการ inclusive or	$A  = b$ มาจาก $a = a   b$
^=	ดำเนินการ exclusive or	$A \wedge = b$ มาจาก $a = a \wedge b$
<<=	การเลื่อนบิตไปทางซ้าย (Left Shift)	$A \ll = b$ มาจาก $a = a \ll b$
>>=	การเลื่อนบิตไปทางขวา (Right Shift)	$A \gg = b$ มาจาก $a = a \gg b$

3.2 นิพจน์ (Expression) คือ การนำค่าคงที่ตัวแปรหรือฟังก์ชันมากระทำอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) ทำหน้าที่กำหนดค่า เปรียบเทียบและบ่งชี้การกระทำนั้น ลำดับการประมวลผลนิพจน์ การกำหนดนิพจน์และใช้โอเปอเรเตอร์หรือตัวดำเนินการหลายๆตัวพร้อมๆกันภายในนิพจน์เดียวกัน ถ้าผู้เขียนไม่จัดลำดับการทำงานก่อนหลังของโอเปอเรเตอร์ให้ถูกต้องก่อนจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่คาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยการประเมินค่าตามลำดับของโอเปอเรเตอร์ของค่าคงที่จำนวนมากกว่าสองตัวสามารถทำได้โดยใช้กฎ precedence ซึ่งข้อกำหนดสำหรับลำดับการประมวลผลนิพจน์เป็นดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงลำดับการทำงานของตัวดำเนินการ

ลำดับที่	ตัวดำเนินการ	ทิศทางการประมวลผล
1	()	ซ้ายไปขวา
2	++, --	ขวาไปซ้าย
3	*, /, %	ซ้ายไปขวา
4	+, -	ซ้ายไปขวา
5	=	ขวาไปซ้าย

#### 4. คำสั่งเงื่อนไขเพื่อการตัดสินใจ (decision statements)

คำสั่งทดสอบเงื่อนไขเพื่อการตัดสินใจเป็นคำสั่งที่มีการทดสอบเงื่อนไขก่อนที่จะทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้ ซึ่งได้แก่คำสั่ง if, if else และโครงสร้าง else if

##### 4.1 คำสั่ง if เป็นคำสั่งที่สั่งการทดสอบเงื่อนไขก่อนที่จะไปทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง if

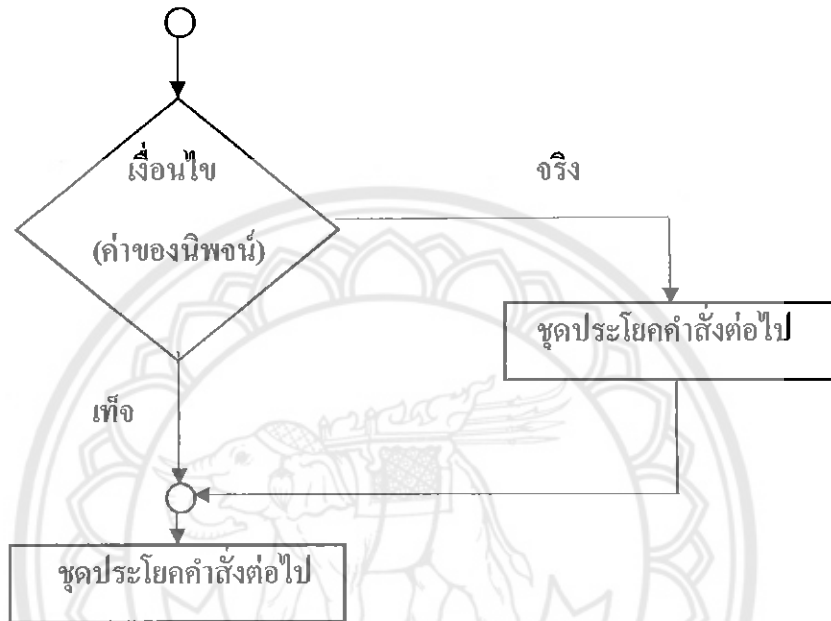
```

If (เงื่อนไข)
{
    คำสั่ง 1 ;
    คำสั่ง 2 ;
    .....
    คำสั่ง n ;
}

```

โดยที่นิพจน์เงื่อนไขซึ่งจะมีค่าจริงหรือเท็จอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะทำงานตามคำสั่งที่อยู่ใน if จากนั้นก็ออกจากคำสั่ง if ไปทำคำสั่งถัดไป ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะออกจากคำสั่ง if ทันที

ลักษณะการทำงานของคำสั่ง if ดังรูปที่ 2.6



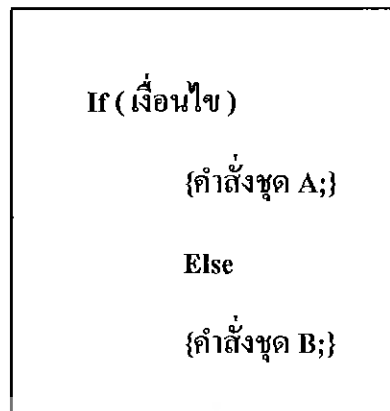
รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเงื่อนไขหรือค่าของนิพจน์ที่ตรวจสอบเป็นจริงก็จะเลือกกระทำชุดคำสั่งหนึ่งแล้วไปกระทำตามคำสั่งต่อไป แต่ถ้าค่าของนิพจน์เป็นเท็จก็ไม่ทำชุดคำสั่งใดๆในทางเลือกเลย แต่ให้ไปทำชุดประโยคคำสั่งต่อไป

4.2 คำสั่ง if else เป็นคำสั่งที่ต่างจากคำสั่ง if แบบง่ายที่ผ่านมาตรงที่คำสั่ง if แบบง่ายนั้น มีทางเลือกที่จะให้ทำอยู่เพียงทางเลือกเดียวคือ ถ้าเป็นจริงก็ทำทางเลือกนั้น แต่ถ้าเป็นเท็จก็ไม่ทำ แต่คำสั่ง if - else นี้มีทางเลือกที่ให้ทำอยู่สองทางเลือกหรือสองกรณี คือ

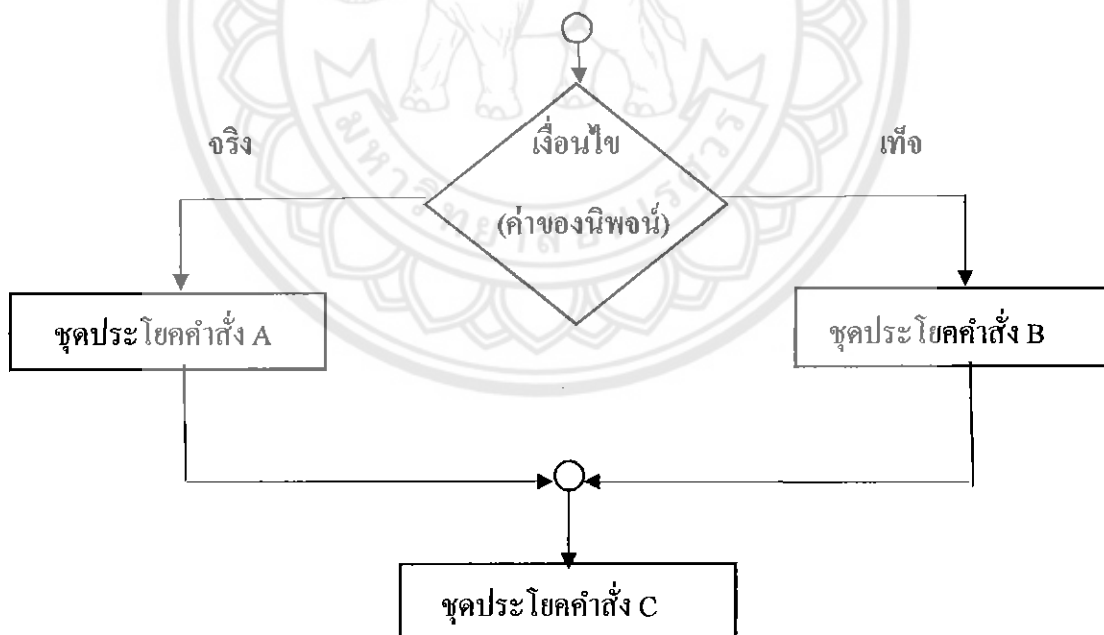
กรณีที่ 1 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงให้ทำกับสายงานหนึ่ง

กรณีที่ 2 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จก็ให้ทำกับอีกสายงานหนึ่ง

### รูปแบบการใช้งานคำสั่ง if - else 2 ทางเลือก



จากรูปแบบของคำสั่งจะเห็นว่าจะมีลักษณะการเขียนคล้ายกับคำสั่ง if แต่จะมีการเพิ่มเติมคำว่า else เข้าไปด้วย ซึ่งการทำงานของคำสั่งแบบนี้จะทำการตรวจสอบเงื่อนไขที่ if ก่อนว่าเป็นจริงหรือเท็จ โดยถ้าเป็นจริงจะไปทำงานในกลุ่มคำสั่งที่เรากำหนดไว้ใน if แต่ถ้าเป็นเท็จก็จะไปทำงานในกลุ่มคำสั่งที่อยู่ในส่วนของ else ซึ่งจะมีทางเลือก 2 ทาง แสดงดังรูปที่ 2.7

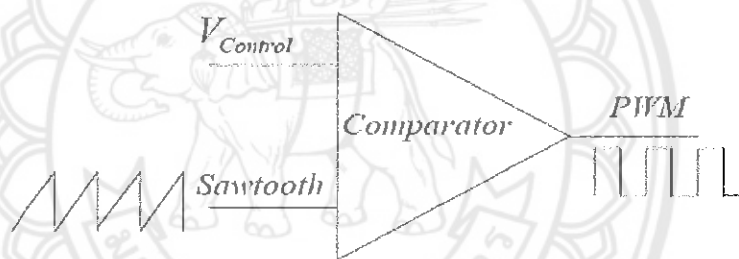


รูปที่ 2.7 เป็นการเลือกทำชุดคำสั่ง A หรือชุดคำสั่ง B ดังนี้ ถ้าเงื่อนไขการตรวจสอบเป็น "จริง" จะไปทำสายงานในชุดประโยคคำสั่ง A แล้วไปทำชุดประโยคคำสั่ง C ต่อ แต่ถ้าเงื่อนไขการตรวจสอบเป็น "เท็จ" จะไปทำสายงานในชุดประโยคคำสั่ง B แล้วไปทำชุดประโยคคำสั่ง C ต่อไป

## 2.6 หลักการสร้างสัญญาณ PWM

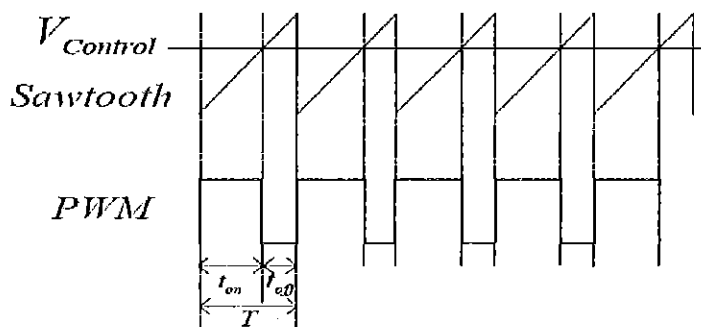
PWM มาจากชื่อเต็มว่า Pulse Width Modulation เป็นสัญญาณที่นำมาใช้ในงานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น การควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และการควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นต้น โดยจะควบคุมการทำงานของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM) จะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตีไซเคิล (เป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ซึ่งค่าของดิวตีไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด

การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรถอนาโลกจะใช้การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณแบบซึ้นบันไดมาเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่เป็นระดับสัญญาณกระแสตรงหรือสัญญาณชานน์ตามรูปแบบของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจร PWM แบบอนาโลก

จากรูป สัญญาณ Sawtooth จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณ  $V_{control}$  ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณ ตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การสร้างสัญญาณ PWM



รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณ PWM ที่ได้จาก สัญญาณ Sawtooth กับ  $V_{control}$  ที่เปรียบเทียบกัน ผลของการเปรียบเทียบ เมื่อระดับของสัญญาณ  $V_{control}$  สูงกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็นลอจิกสูง แต่เมื่อ ระดับของสัญญาณ control  $V$  น้อยกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็นลอจิกต่ำ

คำนวณค่า ดิวตี้ไซเคิลได้เท่ากับ

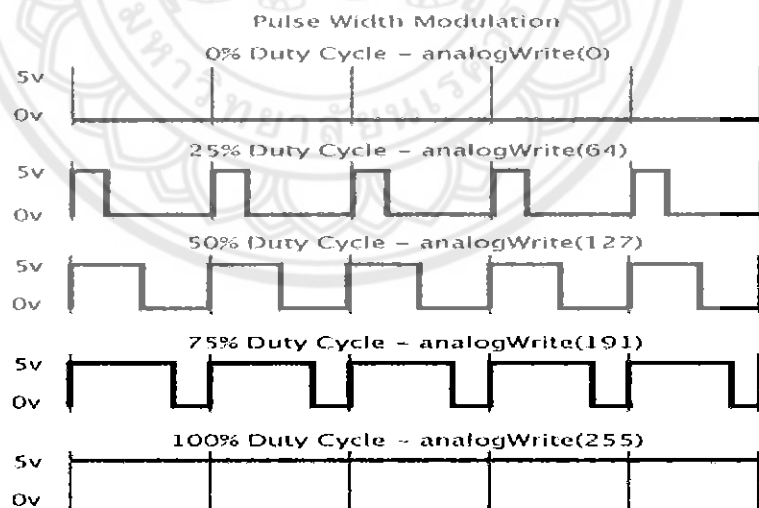
$$D = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \quad (2.5)$$

เมื่อ  $D$  คือ เปอร์เซนต์ค่าดิวตี้ไซเคิล

$T_{on}$  คือ ช่วงเวลาในสถานะลอจิกสูง

$T$  คือ คาบเวลา

สำหรับ โมดูล PWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU ใช้ Port B (PB) หรือขาที่ 15 เพื่อเป็นพอร์ตปล่อยสัญญาณ PWM (แสดงดังตารางที่ 2.1) มีความละเอียด 8 บิตหรือปรับได้ 255 ระดับ ดังนั้นค่าสัญญาณ 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ สามารถแสดงเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลได้ 0 ถึง 255 ซึ่งเราสามารถเทียบสัดส่วนจำนวนจากเลขจริงเป็นเลขทางดิจิตอลได้ ดังรูปที่ 2.10

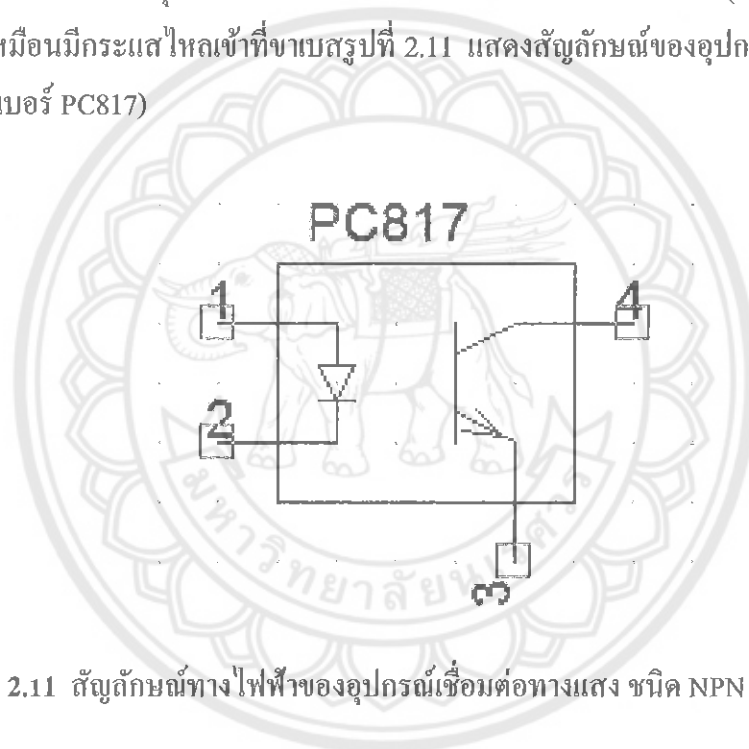


รูปที่ 2.10 ดิวตี้ไซเคิลเทียบกับเลขทางดิจิตอล

## 2.7 ออปโตคัปเปิลอร์ (Opto-Coupler)

เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงหรือออปโตคัปเปิลอร์ (Opto-Coupler) หรือบางทีก็เรียกว่า อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อทาง

แสง โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม นิยมใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจรและต้องการแยกกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจร ภายในของอุปกรณ์ประเภทนี้ ประกอบด้วย ไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งแสง (Optical Transmitter) เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared) และสำหรับตัวรับแสง (Optical Receiver) ซึ่งมักนิยมใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นตัวรับโดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานได้ในลักษณะเดียวกับทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN แต่ไม่มีขาเบส (B) และถูกแทนที่ด้วยส่วนรับแสง เมื่อได้รับแสงหรืออนุภาคของแสงหรือที่เรียกว่า โฟตอน (Photons) ในปริมาณมากพอจะทำให้เกิดอนุภาคอิสระที่มีประจุในบริเวณรอยต่อระหว่างเบสและคอลเลกเตอร์ (Base-Collector Region) และให้ผลเหมือนมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบสรูปที่ 2.11 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง แบบ 4 ขา (เบอร์ PC817)



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง ชนิด NPN Optocoupler

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงสามารถรับสัญญาณอินพุต (ดิจิทัล) เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ เปิด/ปิด ไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ (ทำให้มีกระแสไหล ไดโอดเปล่งแสง) และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยแสง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในลักษณะเป็นอุปกรณ์สวิตช์ เปิด/ปิด หรือนำไปต่อกับวงจรทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อให้สามารถขับกระแสได้ในปริมาณที่สูงขึ้น เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่สูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอดเปล่งแสง (VF) จะทำให้เกิดกระแสไหลหรือที่เรียกว่า กระแสอินพุตหรือกระแสไบอัสตรง (IF) ทำให้ไดโอดเปล่งแสงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในการต่อวงจรจะต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลไม่ให้สูงเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วควรจะให้อยู่ในช่วง 5-50 มิลลิแอมป์ (mA) เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์

ได้รับแสงจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่างขาคอลเลกเตอร์ (C) และขาอิมิตเตอร์ (E) ซึ่งให้ผลเหมือนในกรณีที่จ่ายกระแสเข้าที่ขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเลกเตอร์ และขาอิมิตเตอร์ ( $V_{CB} > 0V$ ) ก็จะทำให้มีกระแสเอาต์พุตไหล

## 2.8 มอสเฟต (MOSFET)

ทรานซิสเตอร์ทั่วไปมีลักษณะการทำงาน คือ ใช้กระแสอินพุตเป็นตัวควบคุมกระแสเอาต์พุต แต่มอสเฟตจะมีลักษณะการทำงานคือ ใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมกระแสและนอกจากนี้ยังนิยมนำมอสเฟตไปใช้ในวงจรขยายสัญญาณต่างๆเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ แต่มอสเฟตมีข้อดีกว่าทรานซิสเตอร์ เช่น มอสเฟตมีอิมพีแดนซ์ทางอินพุตสูงกว่าทรานซิสเตอร์ และมอสเฟตมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้ผลของสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ออกไซด์ของโลหะในการทำส่วนขาเกต มอสเฟตประกอบด้วย 3 ส่วน

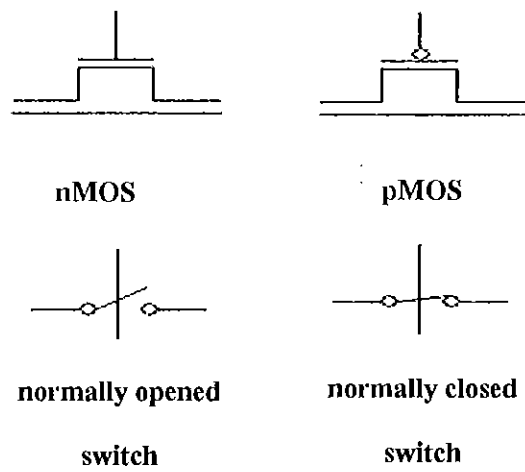
1. ขาเกต (GATE) เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า
2. ขาซอร์ส (SOURCE) เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณไฟฟ้า
3. ขาเดรน (DRAIN) เป็นส่วนขาออกของสัญญาณไฟฟ้า

### ประเภทของ MOSFET

nMOS (negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท NPN เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก (สนามไฟฟ้าแรง) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจากขาซอร์สไปขาเดรนได้

pMOS (positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท PNP เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ (สนามไฟฟ้าอ่อน) สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจากขาซอร์สไปขาเดรนได้

MOSFET ในทางจิตติออลถูกมองว่าเป็นสวิตช์ โดย nMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็ยังคงเปิดอยู่ (normal opened switch) ส่วน pMOS จะเป็นสวิตช์ที่เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สวิตช์ก็จะเปิด ถ้าไม่สวิตช์ก็จะปิดอยู่ (normal closed switch) ดังรูปที่ 2.6 และสัญลักษณ์ทั่วไปจะมีสามขา ขากลางเป็น ขาเกต ส่วนอีกสองขาคือ ขาซอร์ส และขาเดรน โดยใช้ใน nMOS เป็นหลักเพื่อสื่อสัญลักษณ์เดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ ไฟขาเบสไหลขาคอลเลกเตอร์ จะต่อกับอิมิตเตอร์ ส่วน pMOS ก็จะใส่บับเบิลที่ขาเกต แสดงดังรูปที่ 2.12



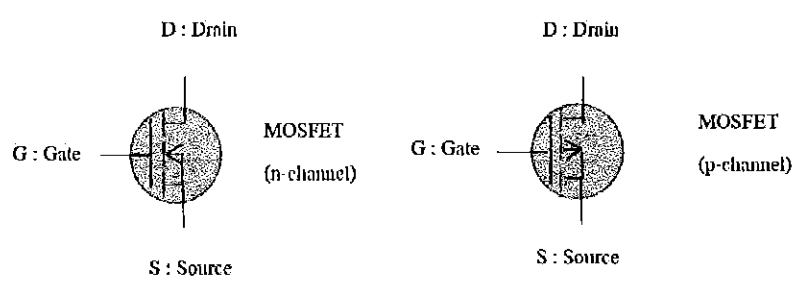
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ในทางดิจิทัล

**การทำงานของ nMOS และ pMOS**

nMOS เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศทางอย่างแรง โยลใน p-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง (ตามรูปที่ประกอบข้างบน) ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น n-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น n-type เหมือนกับขาคอนและขาซอร์สได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ ดังรูปที่ 2.13

pMOS จะทำงานกลับกับกับ nMOS โดยเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน n-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮลบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น p-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น p-type เหมือนกับ ขาคอน และขาซอร์สได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ ดังรูปที่ 2.13

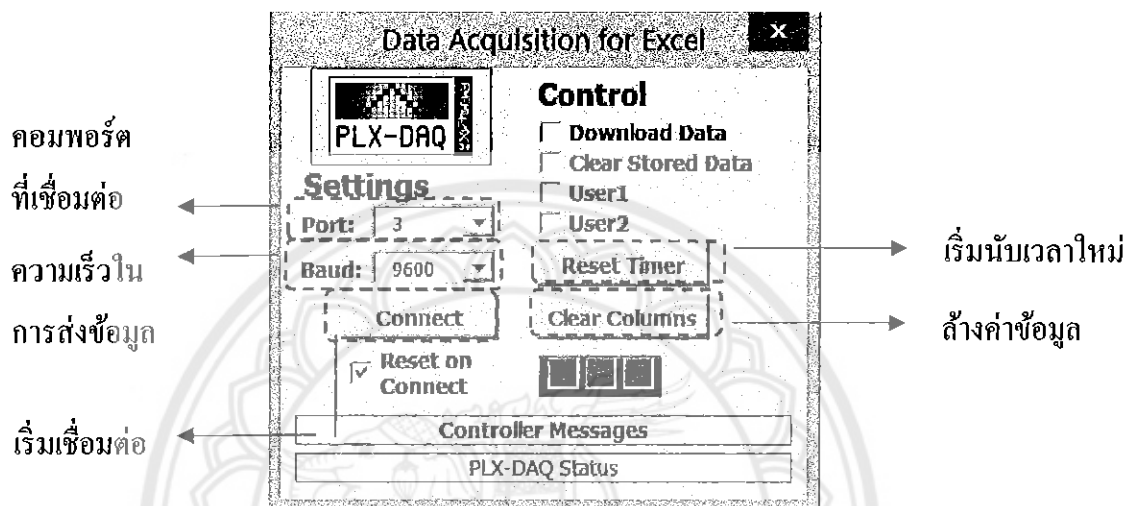
โดยโครงการนี้จะเลือกใช้ Transistor N Channel Power Mosfet 400 โวลต์ 10 แอมแปร์ เมอร์ IRF 740



รูปที่ 2.13 ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของ MOSFET ทั้งสองชนิด

## 2.9 การศึกษาการใช้งานโปรแกรม PLX DAQ

โปรแกรม Parallax Data Acquisition tools หรือ (PLX-DAQ) เป็นซอฟต์แวร์ส่วนเสริมในการเก็บข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์และบันทึกข้อมูลตัวเลขลงในสเปรดชีต ข้อมูลในด้านการวิเคราะห์ในปฏิบัติการของเซ็นเซอร์แบบเรียลไทม์เพื่อใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ และเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล โดยการใช้งานโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หน้าต่างโปรแกรม

### รายละเอียด PLX-DAQ

PLX-DAQ เป็นเครื่องมือ add-on สำหรับ Microsoft Excel โดยข้อมูลที่ได้อาจเป็นของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เราเชื่อมต่อกับหัววัดอุณหภูมิใด ๆ กับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถส่งข้อมูลโดยตรงลงใน Excel PLX-DAQ มีคุณสมบัติดังรูปที่ 2.9

- พล็อตกราฟหรือข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้ Microsoft Excel
- บันทึกได้มากถึง 26 คอลัมน์ของข้อมูล
- สามารถบันทึกข้อมูลเรียลไทม์ (hh: mm: ss) หรือวินาทีจากการตั้งค่า
- สามารถการอ่าน / เขียนข้อมูลในเซลล์ใด ๆ บนแผ่นงาน
- สามารถอ่าน / ตั้งใด ๆ ของ 4 ช่องทำเครื่องหมายในการควบคุมอินเตอร์เฟซ
- อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 128K
- รองรับคอมพอร์ต 1 - 15

17195357

ป  
339  
ณ 3395  
2558



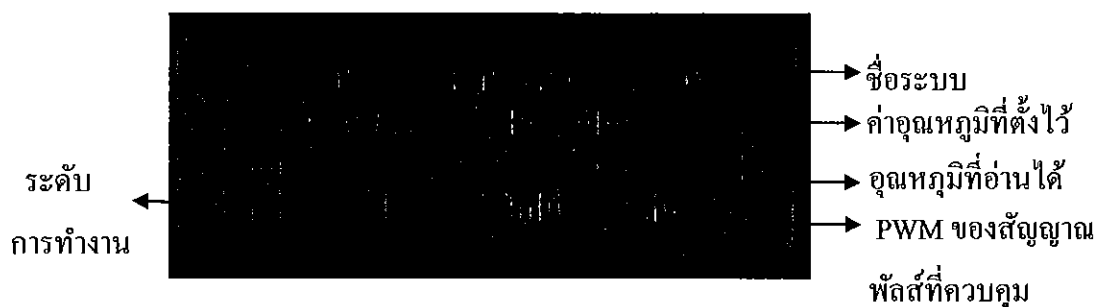
สำนักหอสมุด

110 ต.ค. 2560

## 2.10 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD:Liquid Crystal Display)

การแสดงผลค่าอุณหภูมิจะใช้จอแสดงผลแอลซีดีในการแสดงผล จอแอลซีดีคือเทคโนโลยีมอนิเตอร์ แอลซีดี ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงาน (Passive device) โดยแอลซีดีจะไม่สามารถให้กำเนิดพลังงานแสงได้ด้วยตัวของมันเอง แต่จะรวบรวมพลังงานแสงจากรอบๆตัวของมัน Liquid crystal (ผลึกเหลว) ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย Austrian botanist fredreich rheinizer ในปี ค.ศ.1888 ซึ่ง Liquid crystal นี้จะมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นทั้งของแข็งและของเหลว คล้ายกับน้ำสบู่ ต่อมาราวกลางปี ค.ศ.1960 ได้มีนักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองแสดงให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของแสงที่วิ่งผ่าน Liquid crystal เมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไป เมื่อมีการทดลองเช่นนั้น ทำให้ช่วงปลายปี ค.ศ.1960 ก็ได้มีต้นแบบรุ่นแรกของจอแอลซีดี แต่ทว่าก็ยัง ไม่สามารถที่จะผลิตออกสู่ตลาดได้จริง จนกระทั่งต่อมาสถาบันวิจัย British Research นำเสนอ Liquid crystal ที่มีนามว่า Biphenyl1 ซึ่งทำให้สามารถนำมาผลิตหน้าจอลiquid crystal ออกสู่ตลาดได้จริงในที่สุด

หลักการพื้นฐานคือการบังคับให้หยดของ Liquid crystal (ผลึกเหลว) ซึ่งมีแผ่นแก้วกักเอาไว้ให้ไปปิดรูช่องแสง ซึ่งแสงถูกฉายมาจากด้านหลังของหน้าจอ ก่อให้เกิดการแสดงผลเป็นตัวอักษรหรือตัวเลขในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ จุดเด่นของหน้าจอลiquid crystal ขาว-ดำหรือเรียกอีกอย่างว่าหน้าจอบแบบ Monochrome คือการทำงานที่ไม่ต้องอาศัยป็นขิงอิเล็กทรอนิกส์ จึงช่วยให้ด้านลึกของจอภาพมีขนาดสั้นกว่ามอนิเตอร์แบบซีดีที (CDT) ถึง 3 เท่าและด้วยรูปร่างที่แบนราบทางด้านหน้าและด้านหลัง ขนาดเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบาและประหยัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับการแสดงผลในโครงการนี้ถูกออกแบบให้แสดงบนจอแสดงผลแอลซีดีแบบ 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด (ขนาด 20 × 4) ซึ่งแสดงรูปตัวอย่างของจอแอลซีดีดังรูปที่ 2.15 บรรทัดที่ 1 แสดงชื่อระบบ (Iron Controller) บรรทัดที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Setpoint) 3 บรรทัดที่ 3 แสดงอุณหภูมิที่อ่านได้ (Temp) ตั้งแต่ 0-200 องศาเซลเซียส บรรทัดที่ 4 แสดงระดับการทำงาน (Mode) ระดับ 1,2,3 และแสดง PWM ของสัญญาณพัลส์ที่ควบคุม



รูปที่ 2.15 จอแอลซีดี

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินโครงการการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด โดยมีวิธีดำเนินโครงการ 17 ขั้นตอนดังนี้ ศึกษาหลักการการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี หาค่าสัมประสิทธิ์ a, b และ c ของเทอร์มิสเตอร์เพื่อใช้ในสมการ Steinhart-Hart ออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ นำวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์มาประกอบเป็นชิ้นงาน ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม PLX-DAQ ออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด นำวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดมาประกอบเป็นชิ้นงาน ออกแบบการทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทออกแบบการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด วิเคราะห์ผลการทดสอบ สรุปผลการทดลองและจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์

#### 3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท

จากการศึกษาหลักการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท เตารีดชนิดนี้เป็นเตารีดไฟฟ้าที่มีเครื่องปรับอุณหภูมิหรือเทอร์โมสแตท (Thermostat) สามารถตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับผ้าที่ต้องการรีด ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1

#### 3.2 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนที่ใช้ประมวลผลอุณหภูมิเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมผ่านทางภาษาซีและส่งข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ซึ่งรุ่นที่เราใช้งานคือไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATMEGA328P-PU ซึ่งอยู่ในบอร์ดสำเร็จรูปอาตูโนเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เบอร์ ATmega328P ของแอทเมล (ATMEL) ใช้งานที่ความถี่ 16.00 เมกะเฮิรตซ์ มีหน่วยความจำแฟลช (FLASH) 16 กิโลไบต์ SRAM 1 กิโลไบต์ EEPROM 512 ไบต์มีขาทั้งหมด 28 ขา โดยมีขา I/O ใช้งาน 22 ขา เป็นดิจิตอลจำนวน 14 ขา และเป็น A TO D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ขา เพาเวอร์ซัพพลายต่อใช้งาน 5 โวลต์ ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4

### 3.3 ศึกษาการใช้งานของ Arduino IDE เขียนบนโครงสร้างภาษาซี

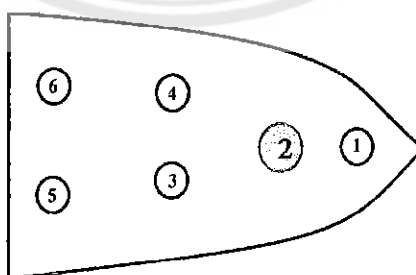
จากการศึกษาการใช้งานภาษาซี ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE เพื่อเป็นคำสั่งในการใช้งานหัววัดอุณหภูมิ สร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและส่งค่าอุณหภูมิสู่คอมพิวเตอร์ ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5

### 3.4 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ $a$ , $b$ และ $c$ ของเทอร์มิสเตอร์ ในสมการ Steinhart-Hart

จากการศึกษาเทอร์มิสเตอร์และสมการ Steinhart-Hart จึงได้ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ของเทอร์มิสเตอร์เพื่อไปใช้งานในสมการ Steinhart-Hart ได้โดยทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิ 31-180 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาคำนวณในสมการที่ 2.3 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ของเทอร์มิสเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1

### 3.5 ออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

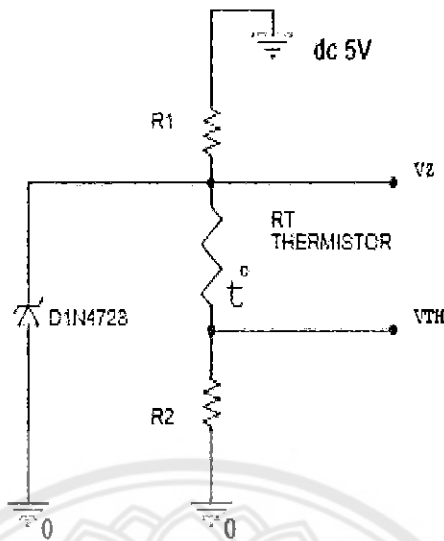
จากการศึกษาหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature-sensing) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ เช่น แมงกานีสนิกเกิลโคบอลต์ ทองแดงและยูเรเนียม เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและมีโครงสร้างคงทนต่อสภาวะทางเคมีและไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานนาน ๆ โดยมีตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.1 และมีการออกแบบการใช้งานแบบแบ่งแรงดัน แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์มิสเตอร์

จากรูปที่ 3.1 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ หมายเลข 2 คือ ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดจากผลการทดสอบ โดยเลือกติดตั้งที่ตำแหน่งนี้ เพื่อเป็นการป้องกันการเสียหายของเนื้อผ้า และเพื่อควบคุมอุณหภูมิสูงสุดของแผ่นรองพื้นเตารีด





รูปที่ 3.2 วงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

จากรูปที่ 3.2 จะได้สมการที่ 3.1 หาค่าความต้านทานของหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

$$R = \frac{V_{th} + R_2}{V_z - V_{th}} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $V_z$  = ซีเนอร์ไดโอดขนาด 3.3 โวลต์

$V_{th}$  = ค่าโวลต์ของเทอร์มิสเตอร์

$R$  = ค่าความต้านทานเทอร์มิสเตอร์

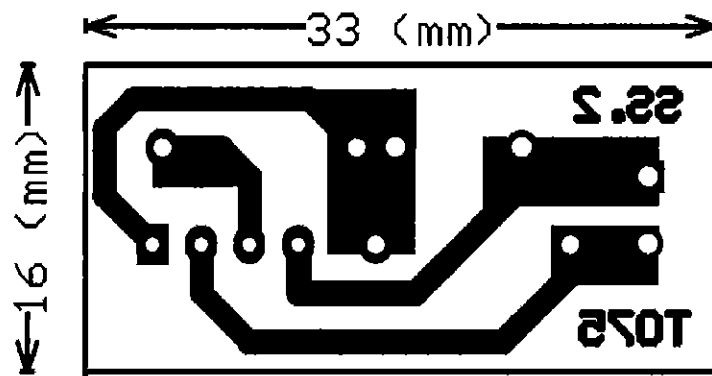
$R_2$  = ค่าความต้าน 6.8 โอห์ม

จากสมการที่ 2.3 และสมการที่ 3.1 จะได้สมการที่ 3.2 อ่านค่าอุณหภูมิ

$$T_t = \frac{1}{2.6994 \times 10^{-3} + 3.7903 \times 10^{-4} \left( \ln \left( \frac{V_{th} \times R_2}{V_z - V_{th}} \right) \right) - 1.2783 \times 10^{-3} \left( \ln \left( \frac{V_{th} \times R_2}{V_z - V_{th}} \right) \right)^3} \quad (3.2)$$

### 3.6 นำวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์มาประกอบเป็นชิ้นงาน

ต่อมาจะกล่าวถึงขั้นตอนการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาลงบนแผ่นปริ้น ซึ่งได้ออกแบบไว้ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.5 ดังรูปที่ 3.2 เมื่อทำการกัดลายปริ้นแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กลายปรินวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

ทำการตรวจสอบดูเส้นลายปรินว่าถูกต้อง หรือขาดหายไปจงรทำงานไม่สมบูรณ์ และ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เมื่อเสร็จแล้วทำการลงอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นปรินที่เตรียมไว้บัดกรี อุปกรณ์ด้วยความระมัดระวัง ทำการตรวจสอบการลงอุปกรณ์อีกครั้งเพื่อป้องกันเสียหาย

### 3.7 ทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

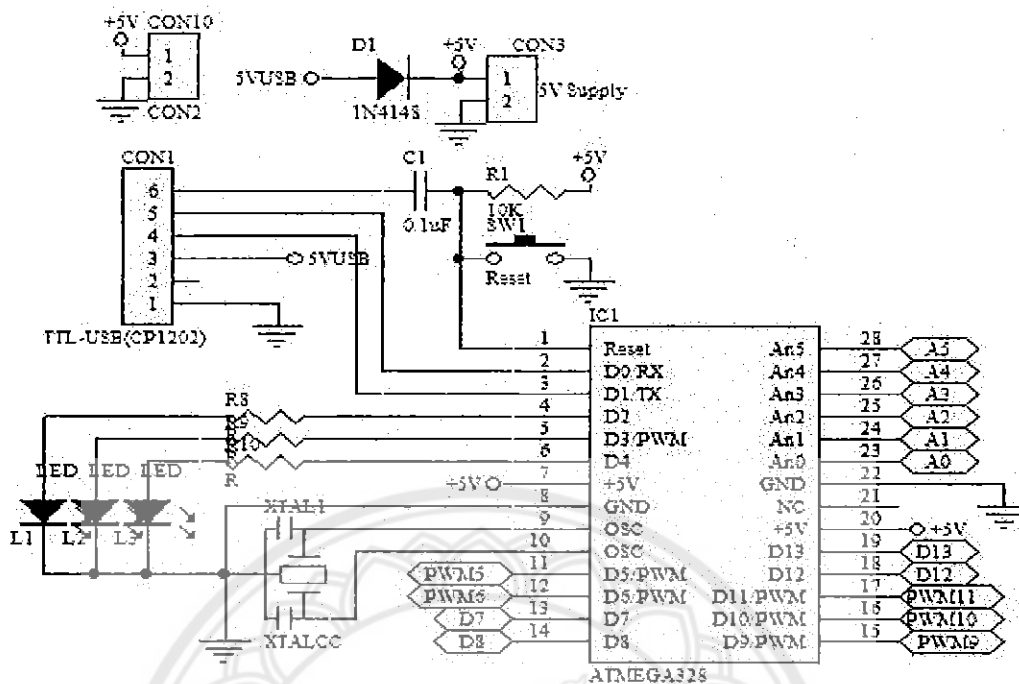
เมื่อทำการบัดกรีอุปกรณ์ลงบนแผ่นปรินแล้วแสดงดังรูปที่ 4.3 ทำการทดสอบใช้งานร่วมกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลตามสมการที่ 3.2 เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ มีการทดสอบโดยการวัดอุณหภูมิเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน แสดงในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.2.1

### 3.8 ออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

จากการศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้ทราบหน้าที่การทำงานเพื่อออกแบบวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU และเมื่อสร้างสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านไปยังออปโตคัปเปิลอร์เพื่อป้องกันการรบกวนทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจรมีออสเฟสเป็นสวิดซ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานตามสัญญาณพัลส์ควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงได้ออกแบบวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า และประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดังต่อไปนี้

#### 3.8.1 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU

วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU มีการต่อการใช้งานอุปกรณ์ดังนี้

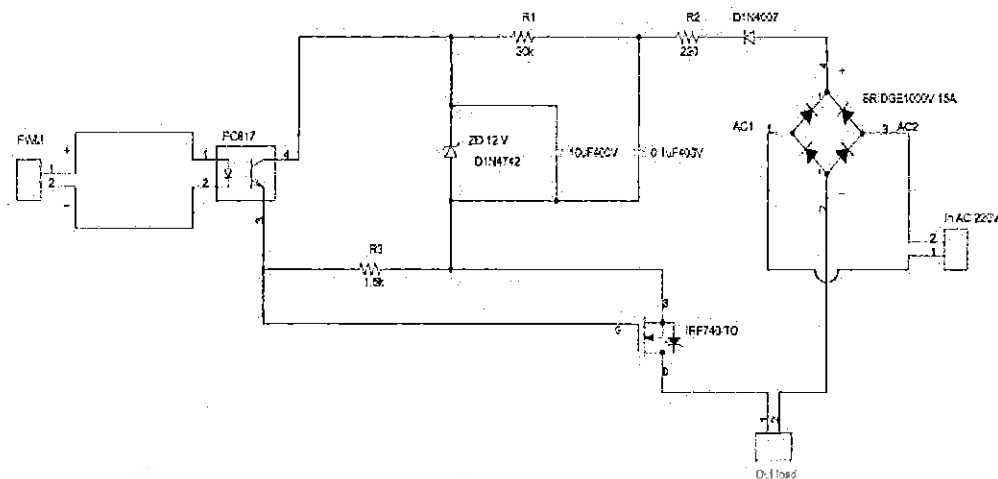


รูปที่ 3.4 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328P-PU

จากรูปที่ 3.4 เป็นการแสดงการทำงานของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข ATMEGA328P-PU ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดังนี้ แสดงระดับการใช้งานทางหลอด LED ระดับ 1,2 และ 3 ที่ขา D2,D3 และ D4 ตามลำดับ เพิ่มระดับการทำงานและลดระดับการทำงานที่ขา D7 และ D8 ตามลำดับ สร้างสัญญาณ PWM ส่งไปยังวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดที่ขา D9 อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของหัววัดอุณหภูมิเพื่อประมวลผลเป็นค่าอุณหภูมิที่ขา A0 และ A1 และการแสดงค่าอุณหภูมิและระดับการทำงานออกจอ LCD ที่ขา A3 ,A4 และ A5 ตามลำดับ

### 3.8.2 วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า

วงจรจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าตามสัญญาณพัลส์ โดยใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ทำงานตามสัญญาณพัลส์ควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกไป เพื่อที่จะควบคุมระดับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ และในวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะมีวงจรลดทอนแรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 V เพื่อจ่ายแรงดันให้กับออปโตคัปเปลอร์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.5 วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะทำงานตามสัญญาณพัลส์ ที่รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดของพัลส์ 5 โวลต์ ส่งผ่านออปโตคัปเปิลอร์เพื่อขยายสัญญาณขึ้นขนาดของพัลส์ 12 โวลต์ เพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากวงจรเรกติไฟเออร์ ให้แก่ขดลวดความร้อนเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทที่ระดับความร้อนที่ต้องการ (Out load)

### 3.9 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม PLX-DAQ

จากการศึกษาการใช้งานภาษาซีเพื่อการเขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อการทำงานกับโปรแกรม PLX-DAQ และศึกษาโปรแกรม PLX-DAQ ซึ่งเป็นส่วนเสริมในการส่งข้อมูลสู่โปรแกรม Excel เพื่อจะใช้ในการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปบันทึกลงในโปรแกรม Excel แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ (ดังแสดงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.9)

### 3.10 ออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

จากการศึกษาภาษาซี และการสร้างสัญญาณ PWM จึงได้ทำการออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดจะมามีการทำงาน 3 ระดับ โดยแต่ละระดับแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงเริ่มต้นการทำงาน และช่วงรักษาอุณหภูมิ แสดงตามตารางที่ 3.1, 3.2 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 การทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1

ตารางการทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1				
ระดับ	ช่วงเริ่มต้นการทำงาน		ช่วงรักษาอุณหภูมิ	
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle
1	$T < 40^{\circ}$	98	$T < 80^{\circ}$	50
	$40^{\circ} \leq T < 60^{\circ}$	50	$T \geq 80^{\circ}$	0
	$60^{\circ} \leq T < 85^{\circ}$	30		
	$T \geq 85^{\circ}$	0		

จากตารางที่ 3.1 ช่วงเริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 98 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 30 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ และช่วงรักษาอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 0 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.2 การทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2

ตารางการทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2				
ระดับ	ช่วงเริ่มต้นการทำงาน		ช่วงรักษาอุณหภูมิ	
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle
2	$T < 40^{\circ}$	98	$T < 120^{\circ}$	50
	$40^{\circ} \leq T < 80^{\circ}$	50	$T \geq 120^{\circ}$	0
	$80^{\circ} \leq T < 120^{\circ}$	30		
	$T \geq 120^{\circ}$	0		

จากตารางที่ 3.3 ช่วงเริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 98 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิต่ำกว่า

80 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิน้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 30 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 98 เปอร์เซ็นต์ และช่วงรักษาอุณหภูมิที่อุณหภูมिन้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 0 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.3 การทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3

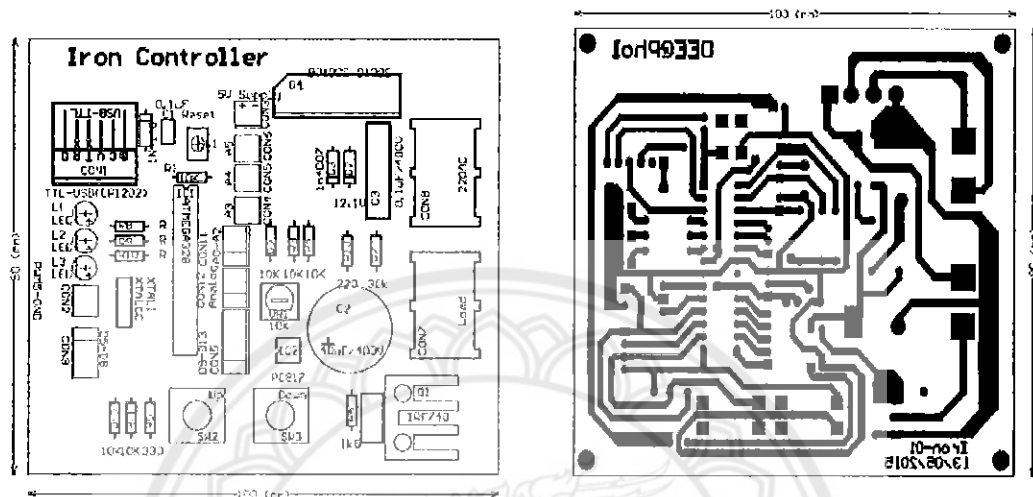
ตารางการทำงานโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3				
ระดับ	ช่วงเริ่มต้นการทำงาน		ช่วงรักษาอุณหภูมิ	
	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	duty cycle
3	$T < 60^{\circ}$	98	$T < 150^{\circ}$	50
	$60^{\circ} \leq T < 120^{\circ}$	50	$T \geq 150^{\circ}$	0
	$120^{\circ} \leq T < 150^{\circ}$	30		
	$T \geq 150^{\circ}$	0		

จากตารางที่ 3.3 ช่วงเริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 98 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมिन้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมिन้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 30 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ และช่วงรักษาอุณหภูมิที่อุณหภูมिन้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส duty cycle จะทำงาน 0 เปอร์เซ็นต์

จากโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้ด ระดับ 1 จะควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ดไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส ระดับ 2 จะควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ดไว้ที่ 120 องศาเซลเซียส และระดับ 3 จะควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ดไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสซึ่งตรงกับค่าควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ดตามที่กำหนดไว้

### 3.11 นำวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดมาประกอบเป็นชิ้นงาน

ขั้นตอนการนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงบนแผ่นปริ้น ซึ่งได้ออกแบบไว้ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.8 เมื่อทำการรวมสองวงจรเข้าด้วยกัน และกัดลายปริ้นจะได้ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า และการออกแบบลายทองแดง

การตรวจสอบดูเส้นลายปริ้นว่าถูกต้องหรือขาดหายไปหรือไม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เมื่อเสร็จแล้วทำการลงอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นปริ้นที่เตรียมไว้และบัดกรีอุปกรณ์ด้วยความระมัดระวัง จากนั้นตรวจสอบการติดตั้งอุปกรณ์อีกครั้งเพื่อป้องกันการเสียหาย เมื่อทำการบัดกรีอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้นแล้วแสดงดังรูปที่ 4.6

### 3.12 ทดสอบวงจรควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

ทำการทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์ duty cycle ขนาด 0 ,30 ,50 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ทำการวัดด้วยออสซิลโคปเพื่อดูการทำงานของสัญญาณเข้าที่พู่ที่จ่ายไปยังขดลวดความร้อนของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท เพื่อตรวจสอบทำงานของสัญญาณเข้าที่พู่ตรงตามขนาดสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้น แสดงในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.2.2

### 3.13 ออกแบบการทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท

ออกแบบการทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทเพื่อใช้วิเคราะห์การทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ไว้ภายในของ

แผ่นรองพื้นเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล ส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิไปยังโปรแกรม (PLX-DAQ) แสดงการใช้งานในบทที่ 2 หัวข้อ 2.9 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิโดยเก็บค่าอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดที่ ระดับ 1 ,2 และ 3 ตามลำดับเป็นเวลา 20 นาที มีการทดสอบ 2 การทดสอบคือ ทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทขณะไม่มีการใช้งาน และทดสอบการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทขณะมีการใช้

### 3.14 ออกแบบการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

เมื่อได้มีการออกแบบในส่วนต่างๆ ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์นำมาประกอบเป็นชิ้นงาน ซึ่งแสดงในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 ทำการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยทำการติดตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์ไว้ภายในของแผ่นรองพื้นเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลโปรแกรมที่ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.10 เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ และส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิไปยังโปรแกรม (PLX-DAQ) แสดงการใช้งานในบทที่ 2 หัวข้อ 2.9 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิโดยเก็บค่าอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดที่ ระดับ 1 ,2 และ 3 ตามลำดับเป็นเวลา 20 นาที มีการทดสอบ 3 การทดสอบคือ ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน และทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งานที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท โดยเก็บค่าอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดขณะมีการใช้งาน

### 3.15 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด โดยจะวิเคราะห์ผลการทดสอบวงจรย่อยของการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดแสดงในหัวข้อ 4.1 และวิเคราะห์การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดในช่วงเริ่มการใช้งาน การแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีด และการควบคุมอุณหภูมิแผ่นรองพื้นเตารีดได้ 3 ระดับคือ ระดับ 1 อุณหภูมิมากกว่า 80 ถึง 110 องศาเซลเซียส ,ระดับ 2 อุณหภูมิมากกว่า 110 ถึง 150 องศาเซลเซียส ,ระดับ 3 อุณหภูมิมากกว่า 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 หัวข้อ 4.7 และ 4.8



### 3.16 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบแล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบของระบบควบคุม อุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ว่าได้ผลการทดสอบตรงตามต้องการ โดยจะกล่าวไว้ในบทที่ 5 หัวข้อ 5.1

### 3.17 จัดทำเล่มปริญญาานิพนธ์

มีการแก้ไขปรับปรุงรูปเล่มเรียบเรียงข้อมูลพร้อมทั้งการจัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นด้วยการหาผลค่าสัมประสิทธิ์ a ,b และ c ของเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ในสมการ Steinhart–Hart ผลการทดสอบวงจรย่อยของการออกแบบและพัฒนาาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คและผลการทดสอบการทำงานแบ่งออกเป็น 7 ผลการทดสอบคือ ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตาไร้คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทขณะมีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตาไร้คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทขณะไม่มีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คขณะไม่มีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คขณะมีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตาไร้คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คขณะไม่มีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตาไร้คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คขณะมีการใช้งาน ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตาไร้คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท กับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้คที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันขณะมีการใช้งาน ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

#### 4.1 ผลค่าสัมประสิทธิ์ a ,b และ c ของเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ในสมการ Steinhart–Hart

จากสมการที่ 2.1 หากค่าสัมประสิทธิ์ของ a ,b และ c เพื่อนำไปใช้งาน โดยการทดสอบวัดหาค่าความสัมพันธ์ของความต้านทานกับอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ a ,b และ c มาใช้งานจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 4.2 และนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 มาเปรียบเทียบกันจะได้ตามรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ

ความต้านทาน(โอห์ม)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ(เคลวิน)
4.99	31	304.15
4.68	35	308.15
4.46	36	309.15
3.83	41	314.15
3.03	50	323.15

ความต้านทาน(โอห์ม)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ(เคลวิน)
2.41	59	332.15
1.99	66	339.15
1.57	77	350.15
1.34	84	357.15
0.93	100	373.15
0.82	113	386.15
0.62	128	401.15
0.52	139	412.15
0.41	149	422.15
0.31	162	435.15
0.21	180	453.15

$$\begin{pmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln(R_{17}) & \ln(R_{17})^3 \end{pmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{1}{T_{T1}} \\ \frac{1}{T_{T2}} \\ \vdots \\ \frac{1}{T_{T17}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

จะได้ค่า

$$a = 2.699472963602 \times 10^{-3}$$

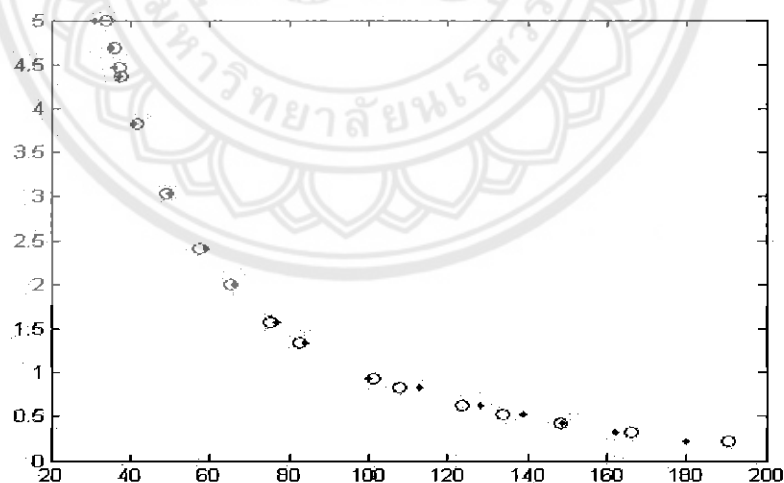
$$b = 3.790303915707076 \times 10^4$$

$$c = -1.27837258059257 \times 10^5$$

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิที่คำนวณได้

ความต้านทาน(โอห์ม)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ(เคลวิน)
4.99	34.01	307.16
4.68	35.74	308.89
4.36	37.72	310.87

ความต้านทาน(โอห์ม)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ(เคลวิน)
3.83	41.56	314.71
3.03	49.20	322.35
2.41	57.52	330.67
1.99	65.13	338.28
1.57	75.37	348.52
1.34	82.71	355.86
0.93	101.11	374.26
0.82	107.90	381.05
0.62	123.73	396.88
0.52	134.15	407.30
0.41	148.69	421.84
0.31	166.20	439.35
0.21	190.56	463.71



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้

จากรูปที่ 4.1 ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อ่านได้มีความต้านทานระหว่าง 4.99 โอห์ม ถึง 0.1 โอห์ม มีอุณหภูมิระหว่าง 34.0 องศาเซลเซียส ถึง 190.56 องศาเซลเซียส หรือ 307.16 เคลวิน ถึง 463.71 เคลวิน โดยที่อุณหภูมิสูง 149 องศาเซลเซียสจะมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.211 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิต่ำ 31 องศาเซลเซียส จะมีค่า ความคลาดเคลื่อนที่ 8.847 เปอร์เซ็นต์

## 4.2 ผลการทดสอบวงจรย่อยของการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

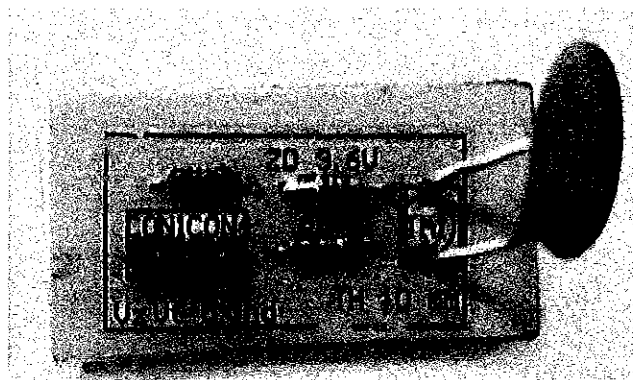
ในการทดสอบวงจรย่อยการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดจะได้ผลการทดสอบของวงจรย่อยได้เป็น 3 วงจร ได้แก่ ผลการทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ ผลการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรวางจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำมาประกอบเป็นชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กล่องระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด

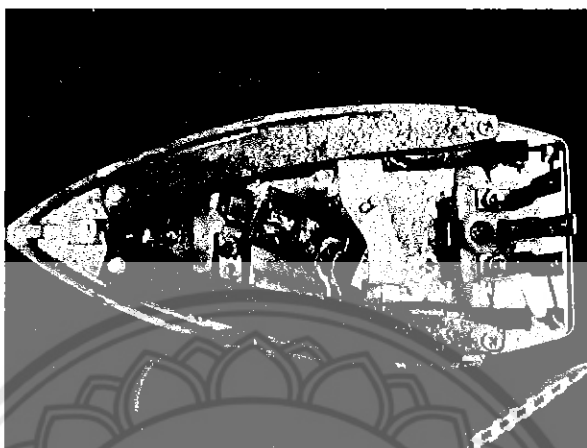
### 4.2.1 การทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

เมื่อนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาลงลายปริ้นเพื่อประกอบเป็นชิ้นงาน แสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7 ได้ดังรูปที่ 4.3



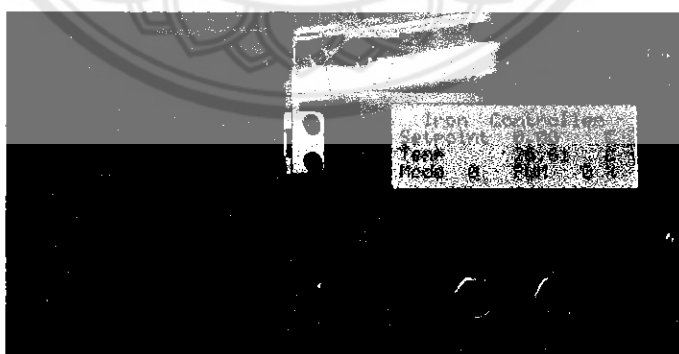
รูปที่ 4.3 กงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

นำวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ตามรูปที่ 4.3 มาติดตั้งภายในเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทตามตำแหน่งจากหัวข้อ 3.5 จะได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

การทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ sck15075 จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิ มาคำนวณในสมการ Steinhart – Hart เพื่อหาค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ โดยประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งค่าอุณหภูมิออกทางโปรแกรม PLX DAQ จะทำการวัดอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ทำการวัดอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มิสเตอร์เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.5 ใช้หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ sck15075 ในการอ่านค่าแล้วประมวลผลอุณหภูมิแสดงผลออกทางจอ LCD จะเห็นได้ว่าวงจรวัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้งานอ่านค่าได้ตรงกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

4.2.2 ทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า

เมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงลายปริ้นเพื่อประกอบเป็นชิ้นงาน แสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่

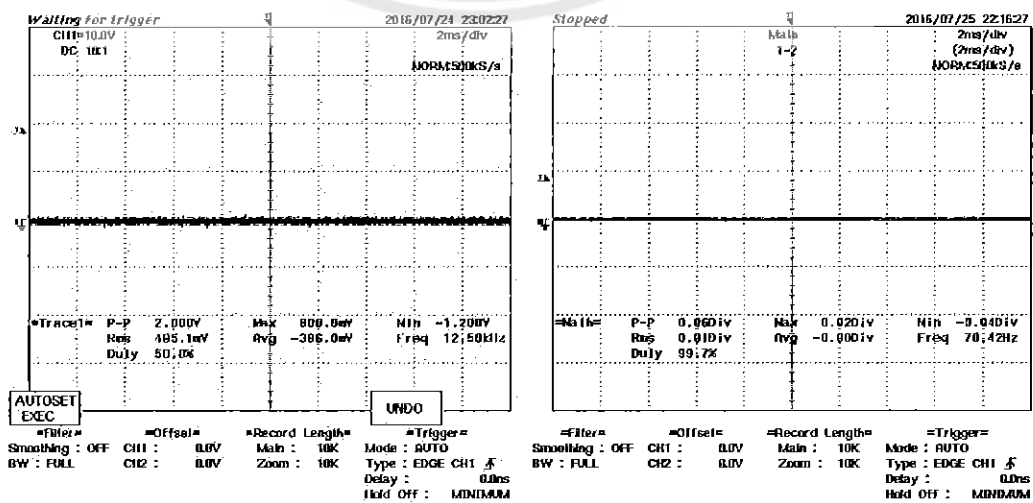
3.11 ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า

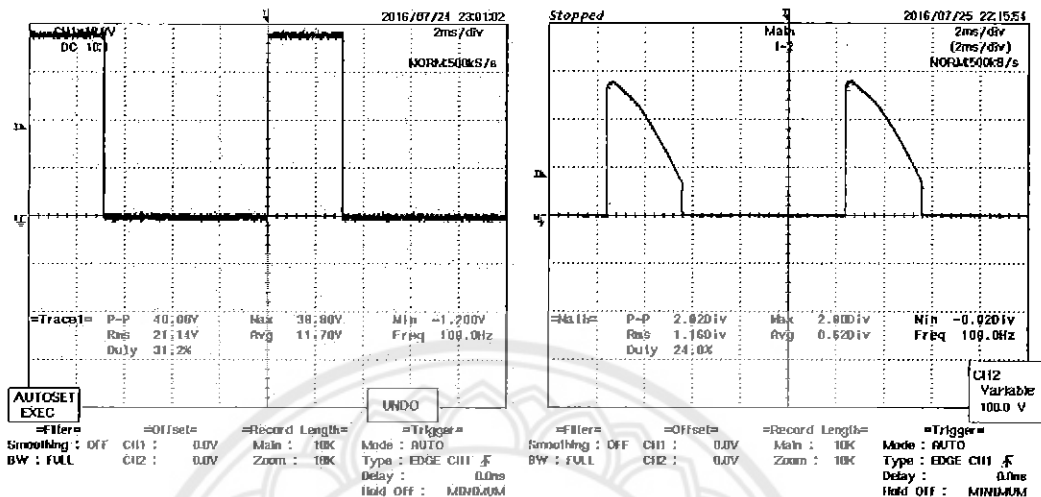
การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้ดโดยใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมการทำงานของวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติในรูปแบบของ duty cycle

จากการออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไร้ดในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.10 มีการใช้งานค่า duty cycle ที่ 0, 30, 50 และ 98 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบทำงานของสัญญาณเอาต์พุตตรงตามขนาดสัญญาณ duty cycle ที่ใช้งาน ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้



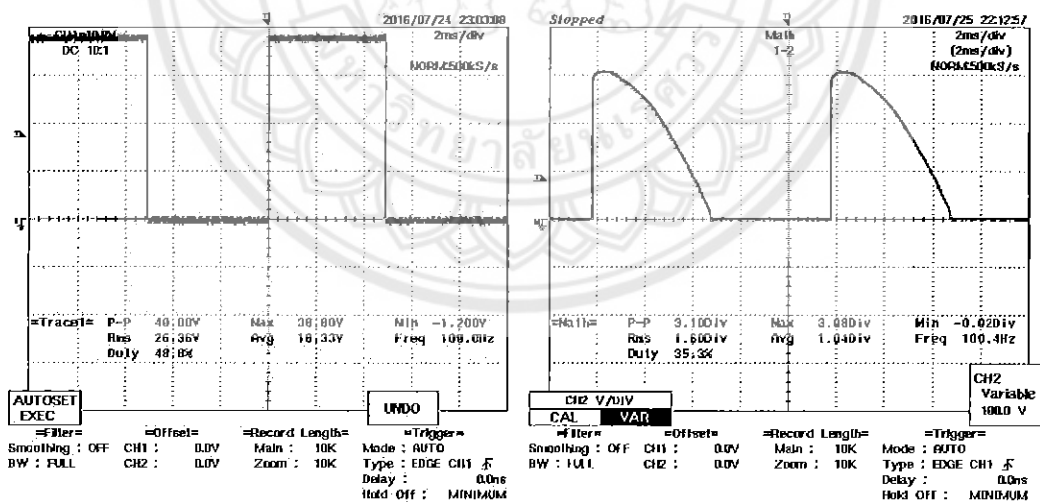
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC (Load) ที่ duty cycle 0

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ที่จ่ายเข้าไป 0 duty cycle สัญญาณเอาต์พุต DC(Load) จะไม่มีรูปสัญญาณเกิดขึ้นทำให้ไม่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามที่ duty cycle กำหนด



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty cycle 30

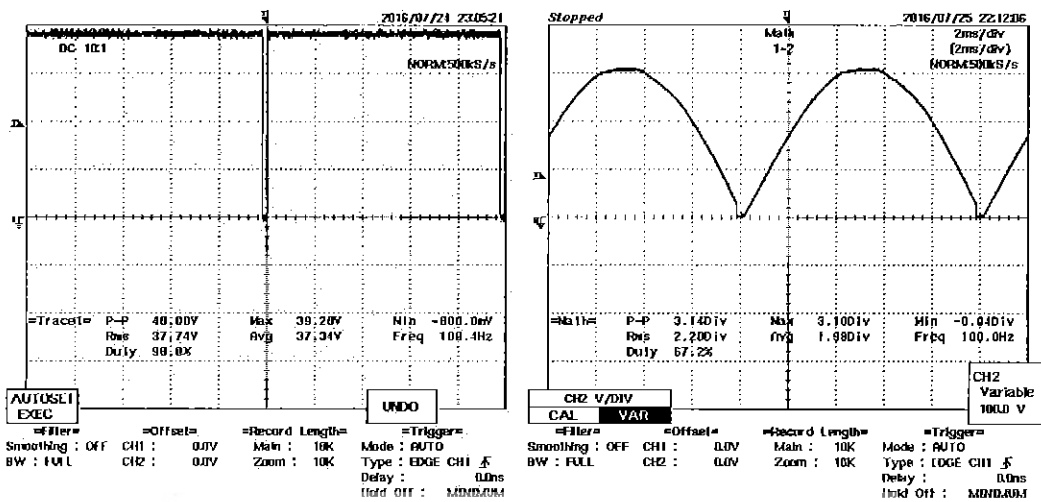
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ที่จ่ายเข้าไป 30 duty cycle สัญญาณเอาต์พุต DC(Load) จะมีรูปสัญญาณเกิดขึ้นทำให้มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามที่ duty cycle กำหนด



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty 50

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ที่จ่ายเข้าไป 50 duty cycle สัญญาณเอาต์พุต DC(Load) จะมีรูปสัญญาณเกิดขึ้นทำให้มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามที่ duty cycle กำหนด



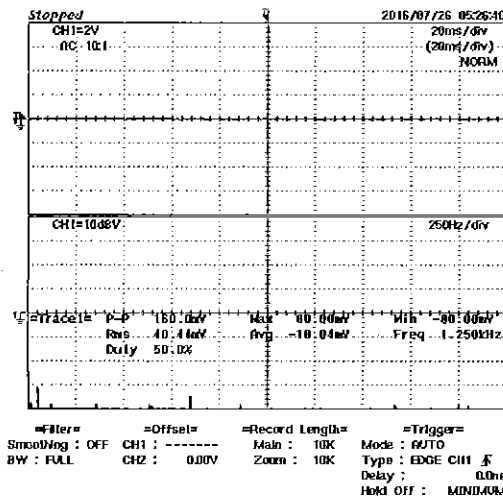


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ PWM กับเอาต์พุต DC(Load) ที่ duty 98

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ที่จ่ายเข้าไป 98 duty cycle สัญญาณเอาต์พุต DC(Load) จะมีรูปสัญญาณเกิดขึ้นทำให้มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามสัญญาณ duty cycle

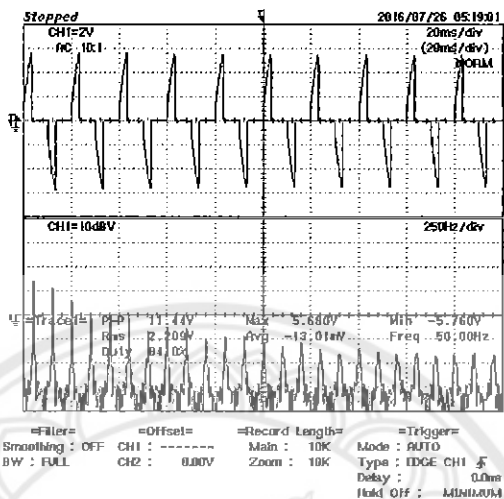
จากการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 0,30,50 และ 98 เปอร์เซ็นต์ มีรูปสัญญาณที่ถูกต้องและเมื่อส่งสัญญาณพัลส์ไปยังวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะมีการทอนพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามค่า duty cycle ที่กำหนด เห็นได้ว่าการทำงานของสัญญาณเอาต์พุตตรงตามขนาดสัญญาณ duty cycle ที่ใช้งาน

จากการทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าเมื่อตรวจสอบการทำงานของสัญญาณเอาต์พุตตรงตามขนาดสัญญาณ duty cycle ที่ใช้งานแล้วจึงทำการทดสอบวงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 0,30,50 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้



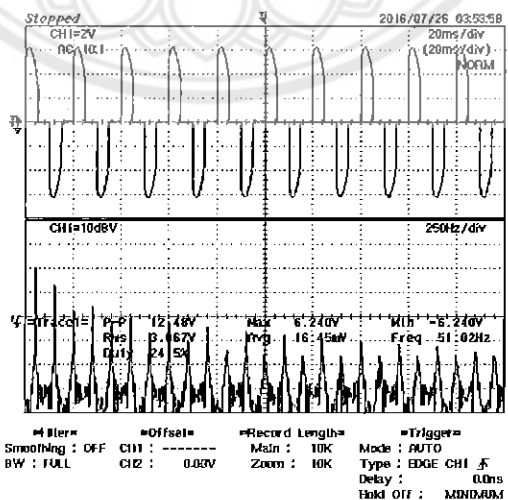
รูปที่ 4.11 ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 0

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าไม่มีฮาร์โมนิกเกิดขึ้นเพราะที่การทำงาน duty cycle 0 ไม่มีกระแสไหลเข้าทำให้ไม่มีการทำงาน



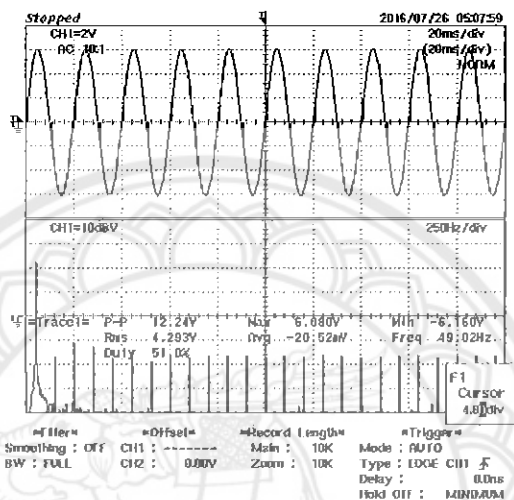
รูปที่ 4.12 ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 30

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่ามีฮาร์โมนิกเกิดขึ้นเพราะที่การทำงาน duty cycle 30 มีรูปคลื่นกระแสไหลเข้าดังรูปสัญญาณ และจากสัญญาณทางความถี่แสดง ความถี่มูลฐาน (Fundamental-Frequency) 50 เฮิร์ตซ์ มีขนาด 4.1 dBV ฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 มีขนาด 1.6 dBV ฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 มีขนาด -4.1 dBV ฮาร์โมนิกลำดับที่ 7 มีขนาด -11.3 dBV ฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 มีขนาด -10.1 dBV ฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 มีขนาด -12.00 dBV และฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 มีขนาด -16.9 dBV



รูปที่ 4.13 ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 50

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่ามีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นเพราะที่การทำงาน duty cycle 50 มีรูปคลื่นกระแสไหลเข้าดังรูปสัญญาณ และจากสัญญาณทางความถี่แสดง ความถี่มูลฐาน (Fundamental-Frequency) 50 เฮิร์ตซ์ มีขนาด 10.8 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีขนาด 3.1 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีขนาด -7.2 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 มีขนาด -5.8 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 มีขนาด -12.8 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 มีขนาด -9.7 dBV และฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 มีขนาด -17.2 dBV

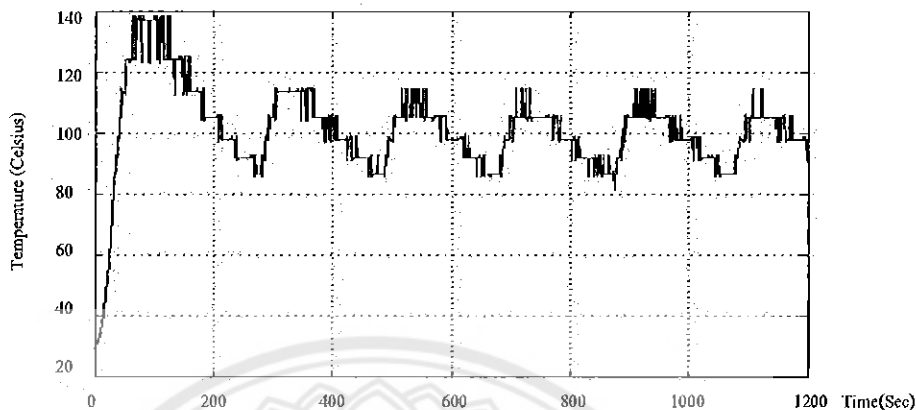


รูปที่ 4.14 ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 98

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่ามีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นเพราะที่การทำงาน duty cycle 98 มีรูปคลื่นกระแสไหลเข้าดังรูปสัญญาณ และจากสัญญาณทางความถี่แสดง ความถี่มูลฐาน (Fundamental-Frequency) 50 เฮิร์ตซ์ มีขนาด 12.7 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีขนาด -27.2 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีขนาด -21.4 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 มีขนาด -22.9 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 มีขนาด -27.7 dBV ฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 มีขนาด -24.8 dBV และฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 มีขนาด -24.8 dBV

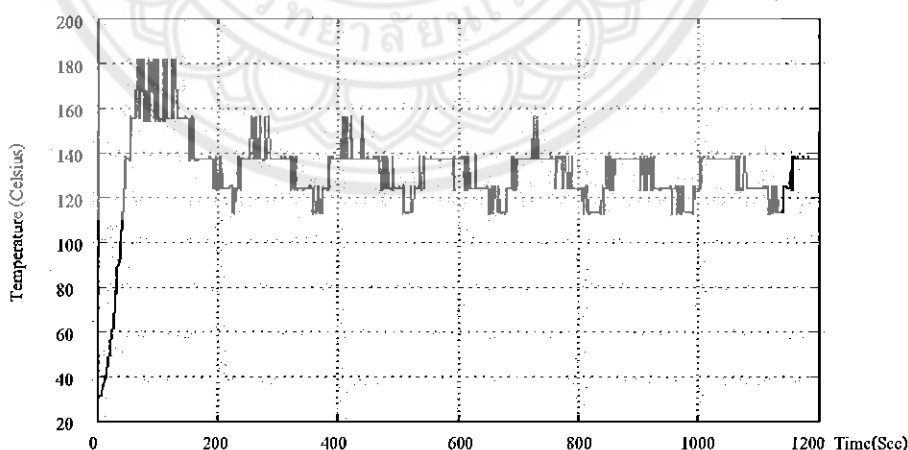
จากการทดสอบวงจรจรวจควบคุมพลังงาน ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นด้านกระแสไหลเข้าที่การทำงาน duty cycle 0 ,30 ,50 และ 98 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ว่าที่ duty cycle 0 ไม่มีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นเพราะยังไม่มีการใช้งาน ที่ duty cycle 30 เปอร์เซ็นต์ มีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นมากที่สุด และ duty cycle 98 เปอร์เซ็นต์ แทบไม่มีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นเลย จึงเห็นได้ว่าสัญญาณทางไฟฟ้าถูกลดทอนด้วย duty cycle มาก จะเกิดฮาร์มอนิกที่ด้านกระแสไหลเข้ามาก

### 4.3 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ขณะไม่มีการใช้งาน



รูปที่ 4.15 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งาน

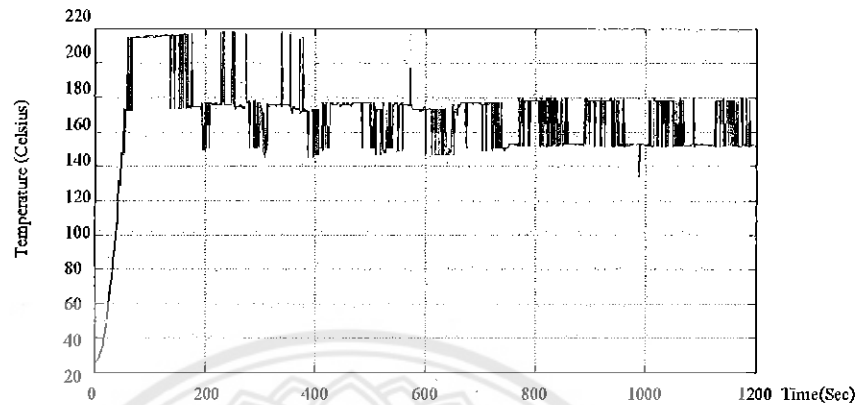
จากรูปที่ 4.15 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 138.12 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสถานะอยู่ค้ำ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 99.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 117.67 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 81 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.16 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่

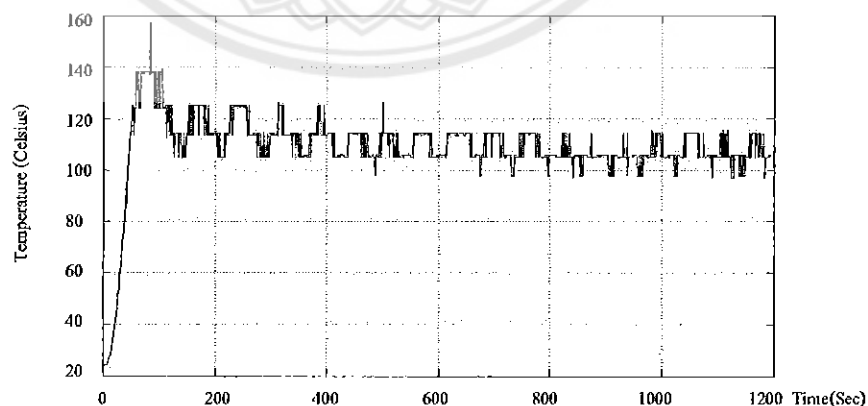
181.54 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 130.24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 148.05 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 112.43 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งาน

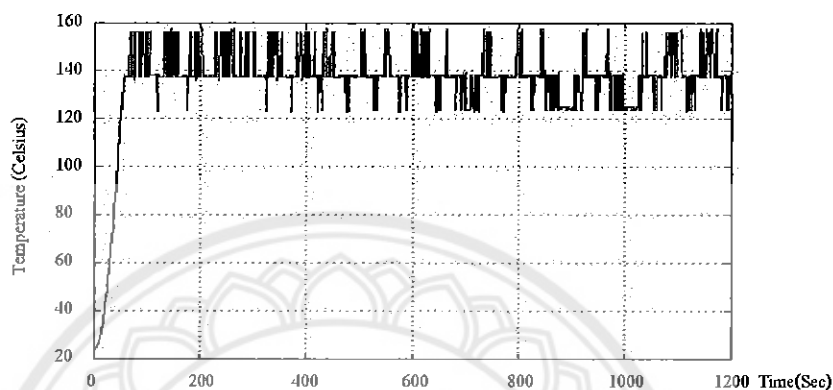
จากรูปที่ 4.17 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 216.97 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 166.63 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 188.10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 145.16 องศาเซลเซียส

#### 4.4 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์กับเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ขณะมีการใช้งาน



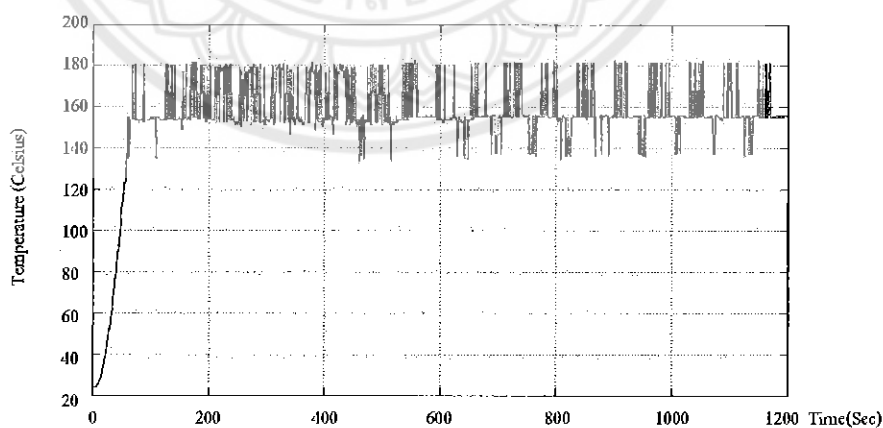
รูปที่ 4.18 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ระดับ 1 ขณะมีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.18 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะมีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 157.16 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 109.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 121.15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 96.91 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.19 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ระดับ 2 ขณะมีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.19 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะมีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 157.16 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 138.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 153.82 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 122.83 องศาเซลเซียส

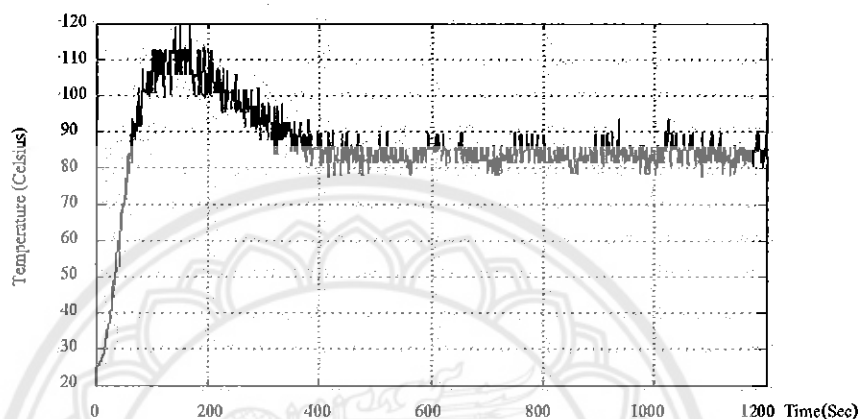


รูปที่ 4.20 เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ระดับ 3 ขณะมีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.20 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะมีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่

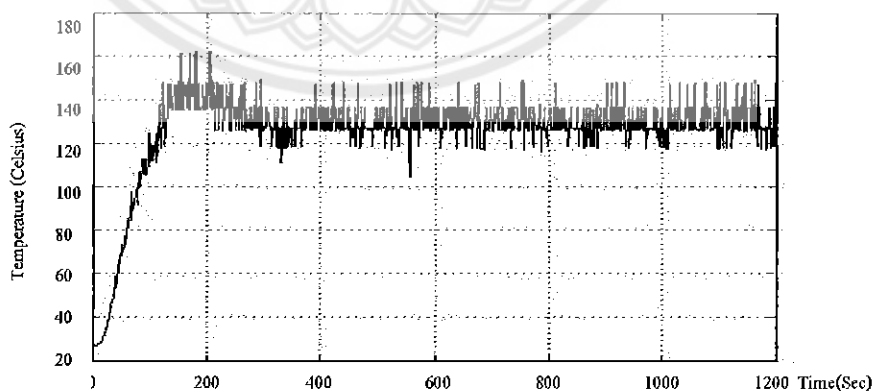
181.54 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 159.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 181.54 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 136.8 องศาเซลเซียส

#### 4.5 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ขณะไม่มีการใช้งาน



รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งาน

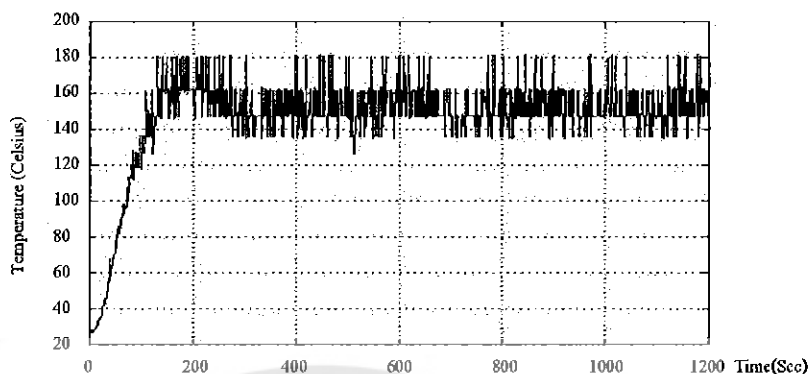
จากรูปที่ 4.21 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 119.81 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 85.07 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 92.14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 78 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.22 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วง

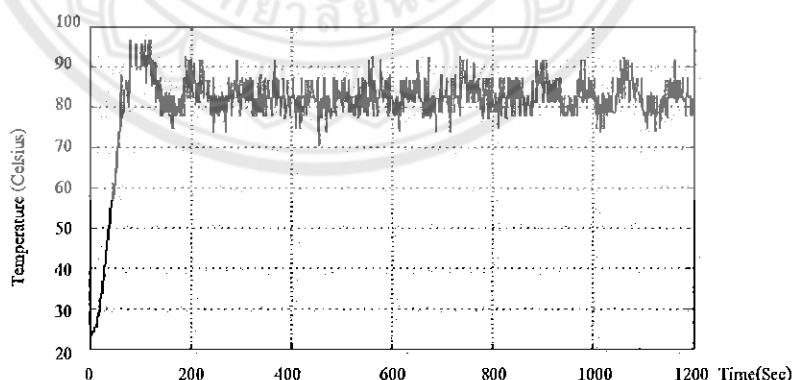
เริ่มการใช้งานที่ 147.23 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสถานะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 129.55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 142.89 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 116.21 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.23 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 180.04 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสถานะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 152.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 169.47 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิต่ำสุด 134.56 องศาเซลเซียส

#### 4.6 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิตำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ขณะมีการใช้งาน

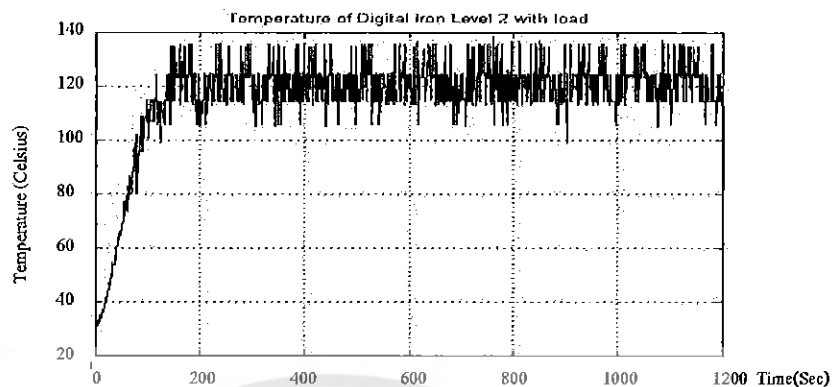


รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 1 ขณะมีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.24 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะมีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิตำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดขณะมีการใช้งาน ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 96.52 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสถานะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิ

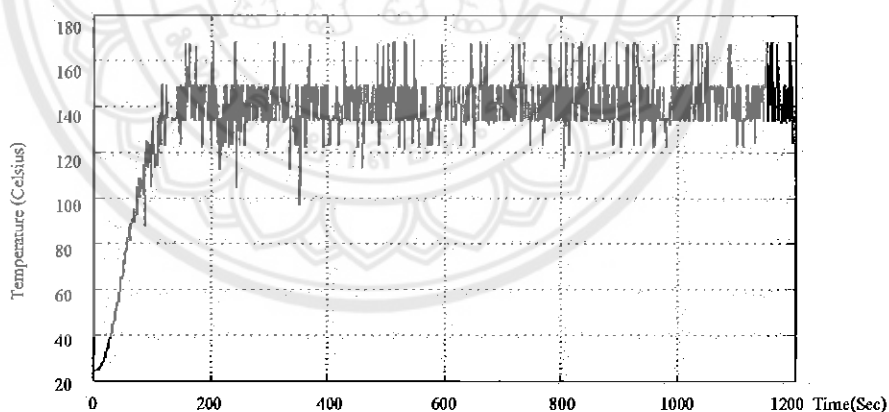


เฉลี่ยที่ 82.405 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 90.82 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 73.99 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 2 ขณะมีการใช้งาน

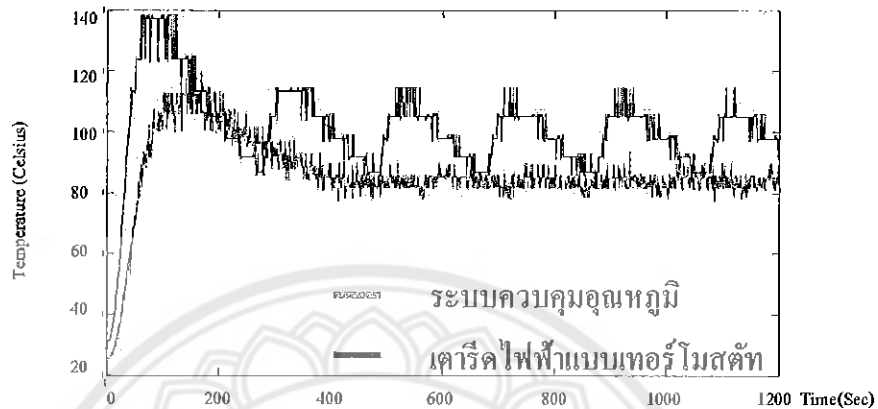
จากรูปที่ 4.25 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะมีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 135.62 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 121.10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 135.62 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 106.58 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิระบบควบคุมอุณหภูมิ ระดับ 3 ขณะมีการใช้งาน

จากรูปที่ 4.26 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะมีการใช้งานระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดทำการวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลทุกๆ วินาที เป็นเวลา 20 นาที มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 148.37 องศาเซลเซียส จะพบว่าในสภาวะอยู่ตัว มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 141.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิค่าสูงสุด 148.37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 134.23 องศาเซลเซียส

#### 4.7 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทขณะไม่มีการใช้งาน



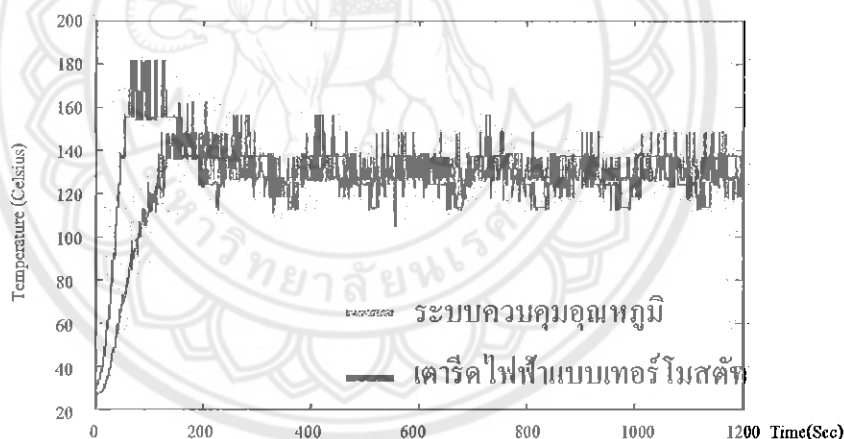
รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 1

จากรูปที่ 4.27 กราฟเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตาไร้ไฟฟ้าของเตาไร้ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 99.33 องศาเซลเซียสมีเวลาขาขึ้น (ช่วงเวลาดังแต่อุณหภูมิมีค่าเป็น 10 % จนถึง 90 % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 53 วินาที มีเวลาคี่เลย (ช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งอุณหภูมิมีค่าเป็น 50 % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 40 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด (ช่วงเวลาดังแต่เริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด) 86 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง (ช่วงเวลาดังแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด) โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 84.43-114.23 องศาเซลเซียส 319 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเตาไร้ไฟฟ้าของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 85.07 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 82 วินาที มีเวลาคี่เลย 56 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 81 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 10\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 76.56-93.58 องศาเซลเซียส 426 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.23 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เทอร์โมสแตทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 1

ระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	138.12	99.33
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	119.81	85.07
ค่าความแตกต่าง	18.31	14.26

จากรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.3 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะไม่มีการใช้งานเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 138.12 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 99.33 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 119.81 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 85.07 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 18.31 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมिन้อยกว่า 14.26 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิจนขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 2

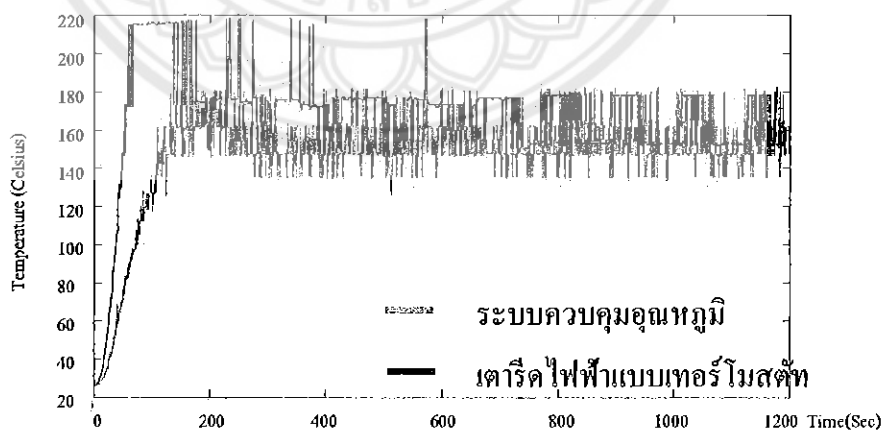
จากรูปที่ 4.28 กราฟเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเคา์คของเคา์คไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 130.24 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 51 วินาที มีเวลา 42 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 78 วินาที และมีเวลาปรับตั้งโดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 20\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 104.19-156.29 องศาเซลเซียส 253 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเคา์คของระบบควบคุมอุณหภูมิมียุณหภูมิเฉลี่ย 129.55

องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 88 วินาที มีเวลาตีเลย 67 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 170 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้ในช่วง  $\pm 15\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 110.12-148.98 องศาเซลเซียส 336 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.24 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เทอร์โมสแตทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 2

ระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	181.54	130.24
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	147.23	129.55
ค่าความแตกต่าง	34.31	0.69

จากรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.4 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งานเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 181.54 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 130.24 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 147.23 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 129.55 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิมีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 34.31 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมิน้อยกว่า 0.69 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 3

จากรูปที่ 4.29 กราฟเคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเคอริคของเคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 166.63 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 67 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 49 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 73 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 20$  % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคือช่วงอุณหภูมิ 133.30-199.96 องศาเซลเซียส 233 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเคอริคของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 152.1 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 102 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 75 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 133 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 15$  % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคือช่วงอุณหภูมิ 129.29-174.92 องศาเซลเซียส 351 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.25 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เทอร์โมสตัทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะไม่มีการใช้งาน ระดับ 3

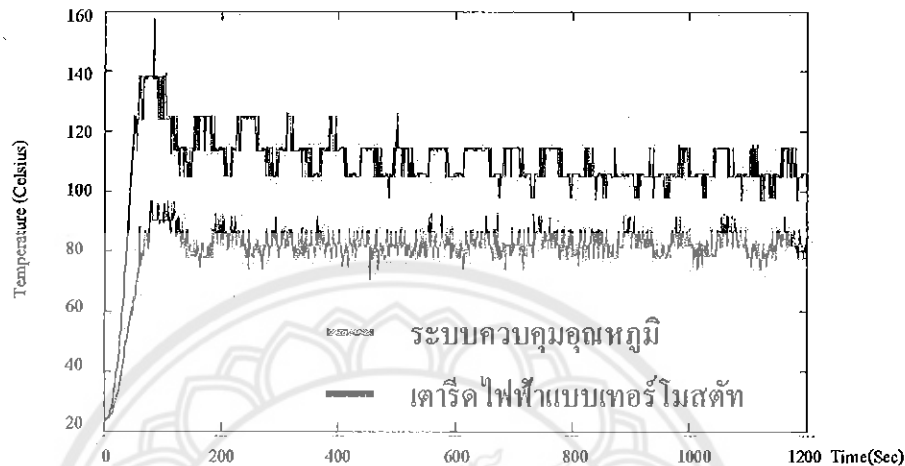
ระดับ 3 ขณะไม่มีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท	216.97	166.63
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	180.04	152.10
ค่าความแตกต่าง	36.93	14.60

จากรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะไม่มีการใช้งานเคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 216.97 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 166.63 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 180.04 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 152.10 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 36.93 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมिन้อยกว่า 14.60 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิจนขณะไม่มีการใช้งาน

จากการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเคอริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสตัทกับระบบควบคุมอุณหภูมิตำหรับแผ่นรองพื้นเคอริคขณะไม่มีการใช้งานทั้ง 3 ระดับ โดยการทดสอบนี้มีผลการทดสอบจากรูปที่ 4.27 ,4.28 ,4.29 และตารางที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งาน ใช้เวลาขึ้นมากกว่า ใช้เวลาปรับตั้งมากกว่า และจากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเห็นได้ว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตรงตามช่วงที่กำหนดทั้ง 3 ระดับการใช้งาน

#### 4.8 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดขณะมีการใช้งาน



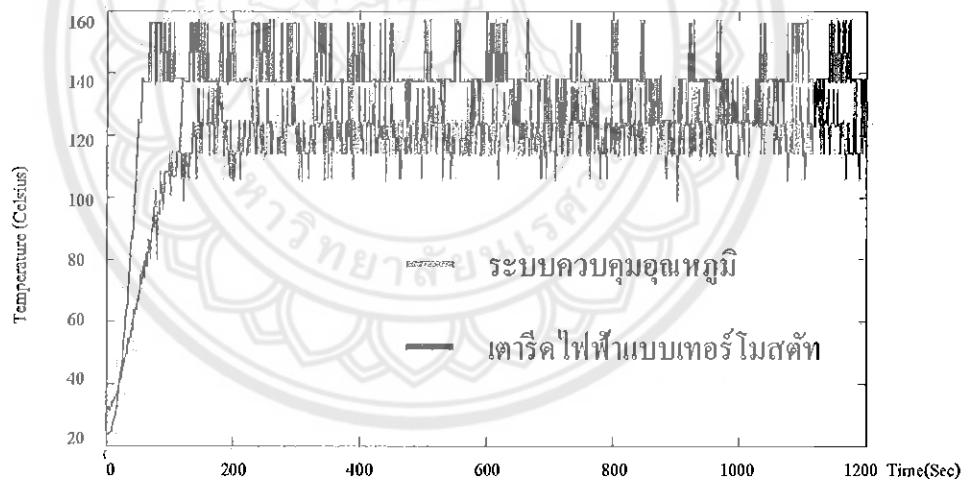
รูปที่ 4.30 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 1

จากรูปที่ 4.26 กราฟ เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตารีดของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 108.76 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น (ช่วงเวลาที่ค่าอุณหภูมิมีค่าเป็น 10 % จนถึง 90 % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 37 วินาที มีเวลาคิลล์ (ช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งอุณหภูมิมีค่าเป็น 50 % ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 24 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด (ช่วงเวลาที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด) 85 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง (ช่วงเวลาที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด) โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 10\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 97.89-119.64 องศาเซลเซียส 449 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเตารีดของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 82.41 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 59 วินาที มีเวลาคิลล์ 49 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 81 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 10\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 74.169-90.651 องศาเซลเซียส 134 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.29 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แยกดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เทอร์โมสแตทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 1

ระดับ 1 ขณะมีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	157.16	109.03
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	96.52	82.41
ค่าความแตกต่าง	60.64	26.63

จากรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.6 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะมีการใช้งานฝ้าข้างเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 157.16 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 109.03 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 96.52 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 82.41 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 60.64 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมिन้อยกว่า 26.63 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 2

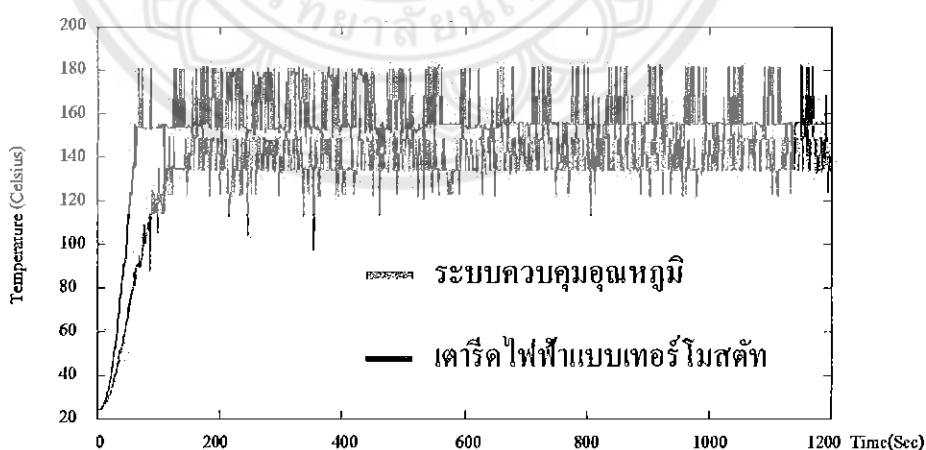
จากรูปที่ 4.31 กราฟเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเทอร์ริคของเทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 138.33 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 48 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 44 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 72 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 117.58-159.08 องศาเซลเซียส 126 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเทอร์ริคของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 121.09

องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 118 วินาที มีเวลาคิลี่ 68 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 133 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 102.93-139.25 องศาเซลเซียส 136 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.27 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.7 เทอร์โมสแตทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 2

ระดับ 2 ขณะมีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	157.16	138.33
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	135.62	121.09
ค่าความแตกต่าง	21.54	17.23

จากรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.7 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะมีการใช้งานผ่านปานกลางเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 157.16 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 138.33 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 135.62 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 121.09 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 21.54 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมิน้อยกว่า 17.23 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน ระดับ 3



จากรูปที่ 4.32 กราฟเตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทจะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตาไรด์ของเตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 159.14 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 15 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 50 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 73 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 15\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 135.27-183.01 องศาเซลเซียส 87 วินาที และจากกราฟระบบควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นรองพื้นเตาไรด์ของระบบควบคุมอุณหภูมิมียุณหภูมิเฉลี่ย 141.38 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 86 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 61 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 162 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 20\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 113.04-169.56 องศาเซลเซียส 144 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.28 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานและค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เทอร์โมสแตทเปรียบเทียบกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน ระดับ 3

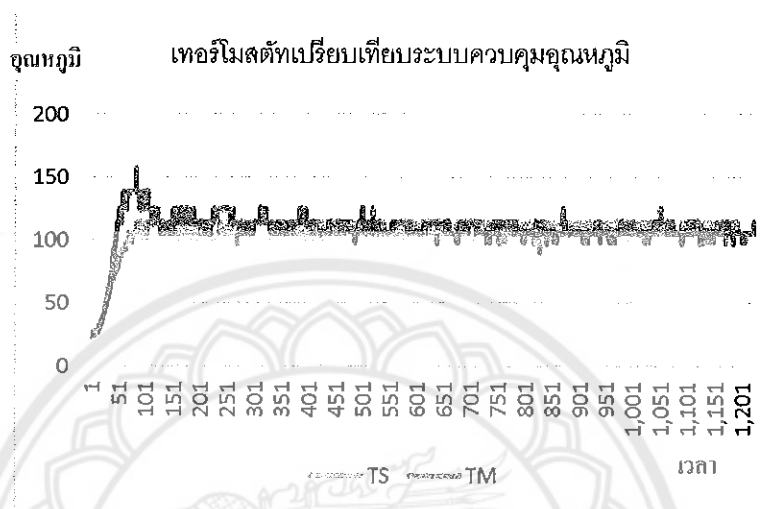
ระดับ 3 ขณะมีการใช้งาน	ค่าสูงสุด(องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)
เตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	181.54	159.14
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	148.37	141.30
ค่าความแตกต่าง	33.17	17.84

จากรูปที่ 4.32 และตารางที่ 4.8 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะมีการใช้งานผ่านเตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท มีค่าอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 181.54 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 159.14 องศาเซลเซียส ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิมียุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานที่ 148.37 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 141.30 องศาเซลเซียส ระบบควบคุมอุณหภูมิมียุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งานน้อยกว่า 33.17 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยมีอุณหภูมिन้อยกว่า 17.84 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งาน

จากการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตาไรด์ไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิตามสำหรับแผ่นรองพื้นเตาไรด์ขณะมีการใช้งานระดับ 1 ฟ้บาง, ระดับ 2 ฟ้หนาปานกลาง และระดับ 3 ฟ้หนา โดยการทดสอบนี้มีผลการทดสอบจากรูปที่ 4.30 ,4.31 ,4.32 และตารางที่ 4.6 ,4.7 ,4.8 จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเริ่มการใช้งาน ใช้เวลานานมากกว่า และจากค่าเฉลี่ยเห็นได้ว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงที่กำหนดทั้ง 3 ระดับการใช้งาน

#### 4.9 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ขณะมีการใช้งาน



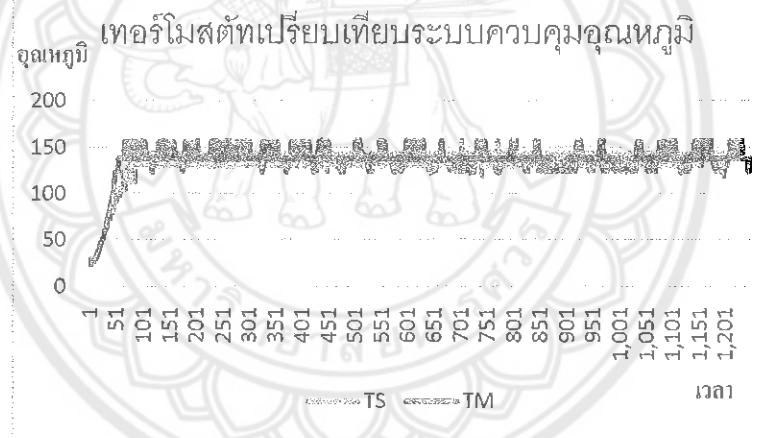
รูปที่ 4.33 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 1

จากรูปที่ 4.33 กราฟ TM จะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตารีดของเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 108.76 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น (ช่วงเวลาดังแต่อุณหภูมิมีค่าเป็น 10% จนถึง 90% ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 37 วินาที มีเวลาเฉลี่ย (ช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งอุณหภูมิมีค่าเป็น 50% ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย) 24 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด (ช่วงเวลาดังแต่เริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด) 85 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง (ช่วงเวลาดังแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด) โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 7\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 101.15 - 116.37 องศาเซลเซียส 449 วินาที และจากกราฟ TS ที่แผ่นรองพื้นเตารีดของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 107.56 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 68 วินาที มีเวลาเฉลี่ย 43 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 115 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 7\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 100.03 - 115.09 องศาเซลเซียส 131 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.29 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 1

ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์	$\bar{X}$	SD ทั้งหมด	SD เมื่อเวลา 200 s
เตาไร้ดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	108.76	15.17	5.89
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	107.31	13.88	4.80
ค่าความแตกต่าง	1.45	1.29	1.09

จากรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.9 ที่อุณหภูมิระดับ 1 ขณะมีการใช้งานสับบาง เตาไร้ดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 108.76 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.17 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 5.89 ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 107.31 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.88 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 4.80 ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 1.45 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 1.29 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที น้อยกว่า 1.09



รูปที่ 4.34 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 2

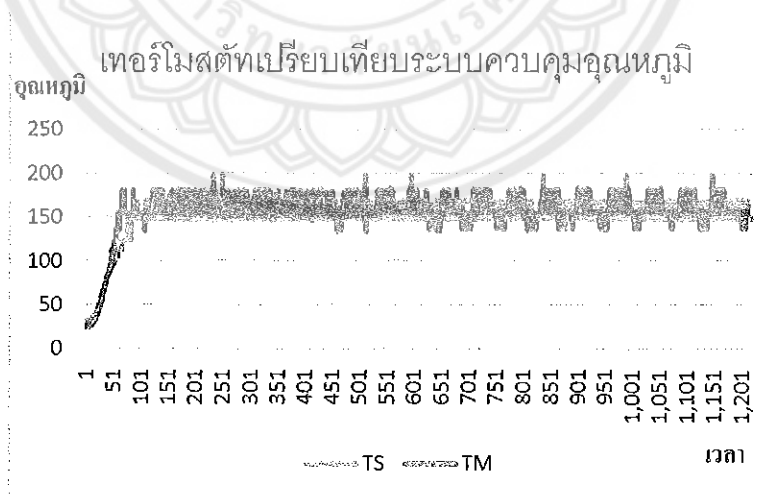
จากรูปที่ 4.34 กราฟ TM จะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตาไร้ดของเตาไร้ดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 135.54 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 44 วินาที มีเวลาดีเลย์ 28 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 68 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 16\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 113.86-157.23 องศาเซลเซียส 64 วินาที และจากกราฟ TS ที่แผ่นรองพื้นเตาไร้ดของระบบควบคุมอุณหภูมิมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 133.01 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 81 วินาที มีเวลาดีเลย์ 51 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 101 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 7\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ

123.7 - 142.32 องศาเซลเซียส 103 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.30 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 2

ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์	$\bar{X}$	SD ทั้งหมด	SD เมื่อเวลา 200 s
เทอร์ริคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	135.54	20.07	9.34
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	133.01	19.04	6.56
ค่าความแตกต่าง	2.53	1.03	2.78

จากรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.10 ที่อุณหภูมิระดับ 2 ขณะมีการใช้งานผ้าห่มนอนกลาง เตารีคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 135.54 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20.07 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 9.34 ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 133.01 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 19.04 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 6.56 ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 2.53 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 1.03 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที น้อยกว่า 2.78



รูปที่ 4.35 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ระดับที่ 3

จากรูปที่ 4.35 กราฟ TM จะเห็นว่าที่แผ่นรองพื้นเตารีคของเตารีคไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีอุณหภูมิเฉลี่ย 154.59 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 58 วินาที มีเวลาคิลล์ 37 วินาที มีเวลาเข้าสู่

ค่าสูงสุด 73 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตกราฟนี้อยู่ในช่วง  $\pm 17\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 128.31-180.87 องศาเซลเซียส 73 วินาที และจากกราฟ TS ที่แผ่นรองพื้นเตารีดของระบบควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 151.62 องศาเซลเซียส มีเวลาขาขึ้น 70 วินาที มีเวลาดีเลย์ 45 วินาที มีเวลาเข้าสู่ค่าสูงสุด 96 วินาที และมีเวลาปรับตั้ง โดยกำหนดขอบเขตนี้อยู่ในช่วง  $\pm 7\%$  ของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือช่วงอุณหภูมิ 141.00 -162.23 องศาเซลเซียส 97 วินาที สามารถนำข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.31 สร้างตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เทอร์โมสแตท (TM) กับระบบควบคุมอุณหภูมิ (TS) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันระดับที่ 3

ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์	$\bar{X}$	SD ทั้งหมด	SD เมื่อเวลา 200 s
เตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท	154.59	25.23	12.22
ระบบควบคุมอุณหภูมิ	151.62	23.82	10.37
ค่าความแตกต่าง	2.97	1.41	1.85

จากรูปที่ 4.35 และตารางที่ 4.11 ที่อุณหภูมิระดับ 3 ขณะมีการใช้งานผ้าหนาเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 154.59 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 25.23 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 12.22 ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 151.62 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.82 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที 10.37 ระบบควบคุมอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 2.97 องศาเซลเซียส ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 1.41 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเวลา 200 วินาที น้อยกว่า 1.85

วิเคราะห์ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตท กับระบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันขณะมีการใช้งาน

จากการทดสอบวัดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบเตารีดไฟฟ้าแบบเทอร์โมสแตทกับระบบควบคุมอุณหภูมิ ขณะมีการใช้งานระดับ 1 ผ้าบาง, ระดับ 2 ผ้าหนาปานกลาง และระดับ 3 ผ้าหนา โดยการทดสอบนี้มีผลการทดสอบจากรูปที่ 4.33 ,4.34 ,4.35 และตารางที่ 4.9 ,4.10 ,4.11 จะเห็นว่าระบบควบคุมอุณหภูมิมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า ใช้เวลาขาขึ้นมากกว่า ใช้เวลาปรับตั้งมากกว่า และจากค่าเฉลี่ยเห็นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงที่กำหนดทั้ง 3 ระดับการใช้งาน

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปในการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด โดยเริ่มจากขั้นตอนศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ออกแบบและพัฒนาโครงสร้างระบบ และทดสอบประสิทธิภาพของการทำงาน วิเคราะห์ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบ ปัญหาและข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในปัจจุบันเตารีด ไฟฟ้าทั่วไปใช้เทอร์โมสแตทในการควบคุมอุณหภูมิแผ่นรองพื้นเตารีด โดยอาศัยคุณสมบัติการโค้งงอของโลหะจะทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีด ทำให้เกิดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีดไม่คงที่ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดแทนเทอร์โมสแตท โครงการนี้ได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีการทำงานของเตารีดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เทอร์มิสเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอสเฟต ออปโตคัปเปลอร์ จอแสดงผลแอลซีดี โดยออกแบบและพัฒนา ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีด ใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลสร้างเป็นสัญญาณพัลส์ตามโปรแกรมที่ออกแบบในหัวข้อ 3.9 ผ่านออปโตคัปเปลอร์เพื่อแยกสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังมอสเฟสให้ เปิด/ปิด พลังงานไฟฟ้าตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้ามาเพื่อควบคุมพลังงานไฟฟ้าให้เป็นไปตามอุณหภูมิที่ต้องการและแสดงอุณหภูมิออกที่จอแอลซีดี เมื่อออกแบบได้ตรงตามต้องการจึงนำวงจรการทำงานทุกส่วนมาประกอบกัน จากนั้นทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยเก็บค่าอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดที่ ระดับ 1 ,2 และ 3 ตามลำดับเป็นเวลา 20 นาที มีการทดสอบ 3 การทดสอบคือ ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีการใช้งาน ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งาน และทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิขณะมีการใช้งานที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับเตารีด ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติขณะมีการใช้งาน

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเตารีด ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติมีการทดสอบขณะ ไม่มี/มีการ ใช้ และจากการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดขณะมีการใช้งานที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับเตารีด ไฟฟ้าแบบ จากผลการทดสอบสามารถลดอุณหภูมิของแผ่นรองพื้นเตารีดในช่วงเริ่มการใช้งาน และลดการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยที่แผ่นรองพื้นเตารีดได้ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามความต้องการของผู้ใช้ได้ 3 ระดับ คือ ช่วง 1

อุณหภูมิมากกว่า 80 ถึง 110 องศาเซลเซียส ,ช่วง 2 อุณหภูมิมากกว่า 110 ถึง 150 องศาเซลเซียส และ ช่วง 3 อุณหภูมิมากกว่า 150 ถึง 200 องศา

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาการอ่านค่าอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงๆ มีค่าไม่ละเอียด ได้มีการแก้ไขโดยเพิ่มวงจร Latch เพื่อป้องกันการอ่านอุณหภูมิ บนหน้าจอ LCD

5.2.2 ปัญหาความต้านทานของสายต่อหัววัดอุณหภูมิ มีการแก้ไขโดยบัดกรีสายต่อหัววัด อุณหภูมิเพื่อลดความต้านทาน

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

5.3.1 เพิ่มระบบการเปลี่ยนอุณหภูมิอัตโนมัติให้เหมาะสมกับชนิดของผ้าที่ใช้งาน

5.3.2 ควรเพิ่มวงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวเพื่อประหยัดพลังงานขณะไม่มีการใช้งาน

5.3.3 ควรลดขนาดของอุปกรณ์ของระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับแผ่นรองพื้นเตารีดให้มีขนาดเล็กกลง



## เอกสารอ้างอิง

- [1] AVR Engincer (2012). atmega328 datasheet.  
สืบค้นจาก <http://atmega32-avr.com/atmega328-datasheet/>
- [2] วิชาการ.คอม.(2547).การเขียนโปรแกรมภาษา C เบื้องต้น (Introduction to C Programming).  
สืบค้นจาก <http://www.vcharkarn.com/varticle/18065>
- [3] Milan Malesevic and Zoran Stupic (2011). Reading a Thermistor.  
สืบค้นจาก <http://playground.arduino.cc/ComponentLib/Thermistor2>
- [4] Arduino and stuff (2015). Measuring temperature with NTC-The Steinhart-Hart Formula.  
สืบค้นจาก <https://arduino diy.wordpress.com/2015/11/10/measuring-temperature-with-ntc-the-steinhart-hart-formula/>
- [5] manuel (2010).Connecting a character LCD to an Arduino.  
สืบค้นจาก <http://www.codingcolor.com/2010/05/14/connecting-a-lcd-to-arduino/>
- [6] Parallax Inc (2016). PLX-DAQ. สืบค้นจาก <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>
- [7] ประภาพร ช่างไม้. (2551). คู่มือเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น. นนทบุรี: ไอซีดีฯ





ภาคผนวก ก

รายละเอียด เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

มหาวิทยาลัยบูรพา

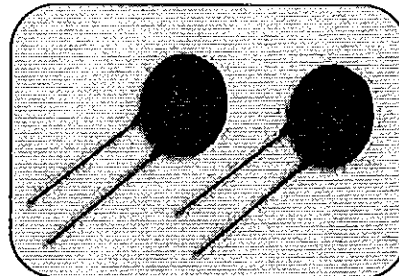
# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Features

1. RoHS compliant
2. Body size  $\Phi 5\text{mm} \sim \Phi 30\text{mm}$
3. Radial lead resin coated
4. High power rating
5. Wide resistance range
6. Cost effective
7. Operating temperature range :
  - $\Phi 5\text{mm}$  :  $-40 \sim +150^\circ\text{C}$
  - $\Phi 8 \sim \Phi 10\text{mm}$  :  $-40 \sim +170^\circ\text{C}$
  - $\Phi 13\text{mm} \sim \Phi 30\text{mm}$  :  $-40 \sim +200^\circ\text{C}$
8. Agency recognition: UL /cUL/TUV /CSA/CQC



### ■ Recommended Applications

1. Switch mode power supply
2. Electric motor
3. Transformer
4. Adapter
5. Projector
6. Halogen lamp

### ■ Part Number Code

- $\Phi 5\text{mm} \sim \Phi 15\text{mm}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Product Type		Body Size			Zero Power Resistance at 25°C (R <sub>25</sub> )		Max Steady State Current at 25°C		Tolerance of R <sub>25</sub>		Appearance		Optional Suffix		
SCK Thinking NTC thermistor SCK type		05 $\Phi 5\text{mm}$	08 $\Phi 8\text{mm}$	10 $\Phi 10\text{mm}$	13 $\Phi 13\text{mm}$	15 $\Phi 15\text{mm}$	0R5 0.5Ω	X3 0.3A	L ±15%	M ±20%	N ±25%	S Straight lead	I Inner kink lead	F Y kink lead	Y RoHS compliant
							2R5 2.5Ω	2X 2.5A							
							08 8Ω	8 8A							
							20 20Ω	10 10A							
							120 120Ω								

- $\Phi 20\text{mm} \sim \Phi 30\text{mm}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Product Type		Body Size		Zero Power Resistance at 25°C (R <sub>25</sub> )		Tolerance of R <sub>25</sub>		Appearance		Packaging		Optional Suffix		
SCK Thinking NTC thermistor SCK type		20 $\Phi 20\text{mm}$	25 $\Phi 25\text{mm}$	30 $\Phi 30\text{mm}$	R <sub>25</sub> < 10Ω	0R7:0.7Ω	L ±15%	S Straight lead	B Bulk					Y RoHS compliant
					2R5:2.5Ω		M ±20%	I Inner kink lead						
					R <sub>25</sub> ≥ 10Ω	100:10Ω	N ±25%	F Y kink lead						
					470:47Ω	471:470Ω								

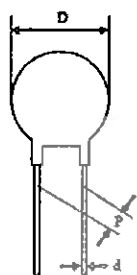
# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Structure and Dimensions

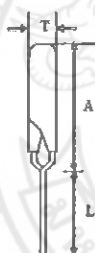
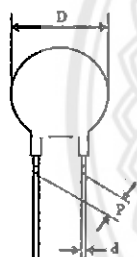
#### S Type (Straight lead)



(Unit:mm)

Body Size	Dmax	P	d	Amax	Lmin	Tmax
φ05	6.5	4±0.6	0.8±0.02	6.5	31	5
φ08	9.5	5±0.8	0.8±0.02	9.5	31	5
φ10	11.5	5±0.8	0.8±0.02	11.5	31	5
φ13	14.5	7.5±1	0.8±0.02	14.5	30	6
φ15	16.5	7.5±1	1.0±0.02	16.5	29	6
φ20	21.6	7.5±1	1.0±0.02	21.5	26	6
φ25	29	7.5±1	1.0±0.02	29	25	7
φ30	36	7.5±1	1.0±0.02	36	23	8

#### F Type (Y kink lead)



(Unit:mm)

Body Size	Dmax	P	d	Amax	Lmin	Tmax
φ08	9.5	5±0.8	0.8±0.02	13	29	5
φ10	11.5	5±0.8	0.8±0.02	15	29	5
φ13	14.5	7.5±1	0.8±0.02	17.5	27	6
φ15	16.5	7.5±1	1±0.02	20	26	6
φ20	21.5	7.5±1	1±0.02	28	25	6
φ25	29	7.5±1	1±0.02	35	22	7
φ30	36	7.5±1	1±0.02	42	22	8

#### I Type (Inner kink lead)

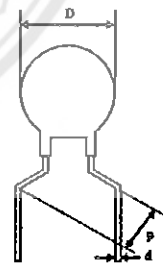
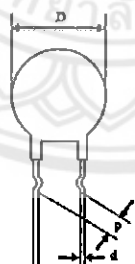


Figure A

Figure B

(Unit:mm)

Body Size	Dmax	P	d	Amax	Lmin	Tmax	Figure
φ05	6.5	5±0.8	0.8±0.02	10	29	5	B
φ08	9.5	5±0.8	0.8±0.02	16	25	5	A
φ10	11.5	5±0.8	0.8±0.02	17	25	5	A
φ13	14.5	7.5±1	0.8±0.02	20	25	6	A
φ15	16.5	7.5±1	1±0.02	23	25	6	A
φ20	21.5	7.5±1	1±0.02	28	24	6	A
φ25	29	7.5±1	1±0.02	35	22	7	A
φ30	36	7.5±1	1±0.02	42	22	8	A

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Electrical Characteristics

Part No.	Zero Power Resistance at 25°C	Max. Steady State Current at 25°C	Residual Resistance at 25°C I <sub>max</sub>	Max. Power Rating at 25°C	Dissipation Factor	Thermal Time Constant	Operating Temperature Range	Safety Approvals				
								R <sub>25</sub> (Ω)	I <sub>max</sub> (A)	R <sub>max</sub> (Ω)	P <sub>max</sub> (W)	δ(mW/°C)
SCK05052□	5	2	0.429	1.8	Approx. 16	Approx. 17	-40 ~ +150	✓	✓	✓	✓	✓
SCK05081□	8	1	1.089					✓	✓	✓	✓	✓
SCK05101□	10	1	1.126					✓	✓	✓	✓	✓
SCK05121□	12	1	1.184					✓	✓	✓	✓	✓
SCK0520X3□	20	0.3	5.560					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08042□	4	2	0.441	2.3	Approx. 16	Approx. 38	-40 ~ +170	✓	✓	✓	✓	✓
SCK084R72□	4.7	2	0.445					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08053□	5	3	0.281					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08063□	6	3	0.283					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08073□	7	3	0.287					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08082□	8	2	0.520					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08102□	10	2	0.542					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08152□	15	2	0.548					✓	✓	✓	✓	✓
SCK08201□	20	1	1.544					✓	✓	✓	✓	✓
SCK0830X□	30	0.5	4.094					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10015□	1	6	0.091	2.4	Approx. 17	Approx. 43	-40 ~ +170	✓	✓	✓	✓	✓
SCK101R35□	1.3	6	0.095					✓	✓	✓	✓	✓
SCK101R55□	1.5	6	0.101					✓	✓	✓	✓	✓
SCK102R55A□	2.5	6	0.120					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10035□	3	6	0.127					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10044□	4	4	0.161					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10054□	5	4	0.180					✓	✓	✓	✓	✓
SCK106R83□	6.8	3	0.270					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10083□	8	3	0.276					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10103□	10	3	0.297					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10123□	12	3	0.301					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10133□	13	3	0.356					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10152X□	15	2.5	0.442					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10162X□	16	2.5	0.471					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10202□	20	2	0.646					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10222□	22	2	0.659					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10252□	25	2	0.674					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10302□	30	2	0.700					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10472□	47	2	0.720					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10502□	50	2	0.813					✓	✓	✓	✓	✓
SCK10801□	80	1	2.236	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK101001□	100	1	2.318	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK101201□	120	1	2.406	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK13013□	1	3	0.174	3.1	Approx. 18	Approx. 66	-40 ~ +200	✓	✓	✓	✓	✓
SCK131R37□	1.3	7	0.070					✓	✓	✓	✓	✓
SCK132R56□	2.5	6	0.094					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13045□	4	5	0.132					✓	✓	✓	✓	✓
SCK134R74□	4.7	4	0.168					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13055□	5	5	0.166					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13074□	7	4	0.184					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13084□	8	4	0.206					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13104□	10	4	0.217					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13124□	12	4	0.230					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13153□	15	3	0.343					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13163□	16	3	0.348					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13183□	18	3	0.365					✓	✓	✓	✓	✓
SCK13203□	20	3	0.410					✓	✓	✓	✓	✓

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



Part No.	Zero Power Resistance at 25°C	Max. Steady State Current at 25°C	Residual Resistance at 25°C I <sub>max</sub>	Max. Power Rating at 25°C	Dissipation Factor	Thermal Time Constant	Operating Temperature Range	Safety Approvals				
	R <sub>25</sub> (Ω)	I <sub>max</sub> (A)	R <sub>max</sub> (Ω)	P <sub>max</sub> (W)	δ(mW/°C)	τ(Sec.)	T <sub>L</sub> -T <sub>H</sub> (°C)	UL	cUL	CSA	TUV	CQC
SCK150R78A□	0.7	8	0.051	3.6	Approx. 21	Approx. 75	-40~+200	✓	✓		✓	✓
SCK15018□	1	8	0.054					✓	✓		✓	✓
SCK151R38□	1.3	8	0.064					✓	✓	✓	✓	✓
SCK151R58□	1.5	8	0.068					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15028□	2	8	0.078					✓	✓		✓	✓
SCK152R68□	2.5	8	0.086					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15037□	3	7	0.091					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15046□	4	6	0.117					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15056□	5	6	0.121					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15065□	6	5	0.159					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15075□	7	5	0.161					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15085□	8	5	0.165					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15105□	10	5	0.178					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15125□	12	5	0.185					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15154□	15	4	0.261					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15164□	16	4	0.265					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15184□	18	4	0.273					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15204□	20	4	0.283					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15224□	22	4	0.300					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15253□	25	3	0.425					✓	✓	✓	✓	✓
SCK15303□	30	3	0.481	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK15333□	33	3	0.484	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK15403□	40	3	0.511	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK15473□	47	3	0.517	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK15802X□	80	2.5	0.693	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK151202□	120	2	1.010	✓	✓	✓	✓	✓				
SCK200R7□	0.7	15	0.035	4.9	Approx. 28	Approx. 113	-40~+200	✓	✓			✓
SCK201R0□	1	13	0.034					✓	✓			✓
SCK201R5□	1.5	10.5	0.041					✓	✓			✓
SCK202R0□	2	10	0.062					✓	✓			✓
SCK202R5□	2.5	9	0.083					✓	✓			✓
SCK203R0□	3	8.5	0.078					✓	✓			✓
SCK204R0□	4	8	0.080					✓	✓			✓
SCK204R7□	4.7	7.5	0.114					✓	✓			✓
SCK205R0□	5	7.5	0.118					✓	✓			✓
SCK206R0□	6	7	0.120					✓	✓			✓
SCK206R8□	6.8	6.5	0.130					✓	✓			✓
SCK207R0□	7	6.5	0.132					✓	✓			✓
SCK208R0□	8	6	0.161					✓	✓			✓
SCK20100□	10	5.5	0.196					✓	✓			✓
SCK20120□	12	5	0.197					✓	✓			✓
SCK20130□	13	5	0.213					✓	✓			✓
SCK20150□	15	4.5	0.258					✓	✓			✓
SCK20160□	16	4.5	0.276					✓	✓			✓
SCK20180□	18	4	0.280					✓	✓			✓
SCK20200□	20	4	0.306					✓	✓			✓

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



Part No.	Zero Power Resistance at 25°C	Max. Steady State Current at 25°C	Residual Resistance at 25°C I <sub>max</sub>	Max. Power Rating at 25°C	Dissipation Factor	Thermal Time Constant	Operating Temperature Range	Safety Approvals				
	R <sub>25</sub> (Ω)	I <sub>max</sub> (A)	R <sub>max</sub> (Ω)	P <sub>max</sub> (W)				UL	cUL	CSA	TUV	CQC
SCK251R0□	1	20	0.020	7.0	Approx. 30	Approx. 130	-40 ~ +200	✓	✓			✓
SCK251R5□	1.5	18.5	0.023					✓	✓			✓
SCK252R0□	2	18	0.025					✓	✓			✓
SCK252R5□	2.5	18	0.032					✓	✓			✓
SCK253R0□	3	14.5	0.042					✓	✓			✓
SCK254R0□	4	14	0.044					✓	✓			✓
SCK254R7□	4.7	13	0.052					✓	✓			✓
SCK255R0□	5	12	0.061					✓	✓			✓
SCK256R8□	6.8	10.5	0.082					✓	✓			✓
SCK257R0□	7	10	0.092					✓	✓			✓
SCK258R0□	8	9	0.116					✓	✓			✓
SCK25100□	10	8	0.141					✓	✓			✓
SCK25120□	12	7.5	0.164					✓	✓			✓
SCK25150□	15	6.5	0.210					✓	✓			✓
SCK25180□	18	5.5	0.231					✓	✓			✓
SCK25200□	20	5	0.270	✓	✓			✓				
SCK301R0□	1	30	0.016	8.0	Approx. 40	Approx. 190	-40 ~ +200	✓	✓			✓
SCK301R5□	1.5	25	0.020					✓	✓			✓
SCK302R0□	2	23	0.022					✓	✓			✓
SCK302R5□	2.5	18	0.030					✓	✓			✓
SCK303R0□	3	17	0.035					✓	✓			✓
SCK304R0□	4	16	0.048					✓	✓			✓
SCK304R7□	4.7	15	0.055					✓	✓			✓
SCK305R0□	5	14	0.057					✓	✓			✓
SCK306R8□	6.8	12	0.077					✓	✓			✓
SCK307R0□	7	11.5	0.084					✓	✓			✓
SCK308R0□	8	10.5	0.100					✓	✓			✓
SCK30100□	10	10	0.115					✓	✓			✓
SCK30120□	12	9	0.142					✓	✓			✓
SCK30150□	15	8	0.175					✓	✓			✓
SCK30180□	18	7	0.210					✓	✓			✓
SCK30200□	20	6	0.233	✓	✓			✓				

Note1 : n = Tolerance of R<sub>25</sub>

Note2: UL & cUL file no. E138827

CSA file no. 97495

TUV File no. R 50050155

CQC File no. CQC04001011942-944; CQC04001011963-965; CQC05001011984-985;

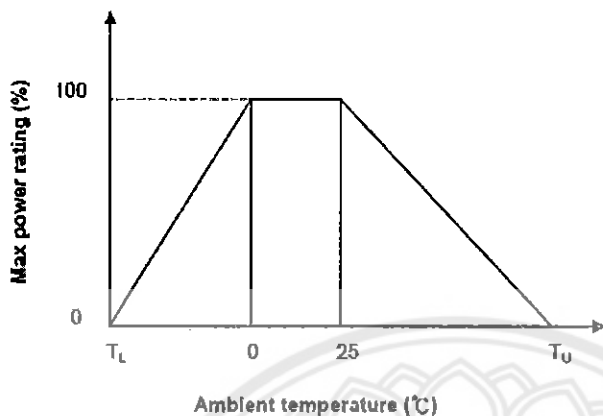
CQC05001011988-990; CQC05001011993

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



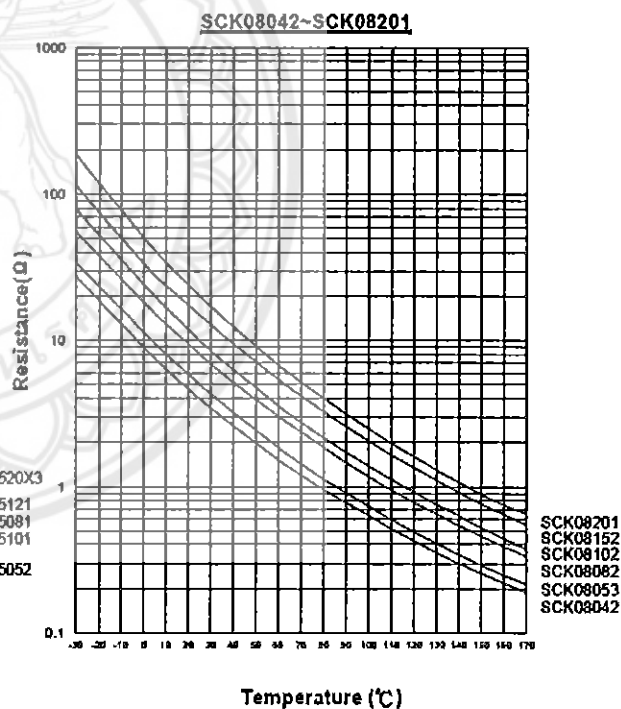
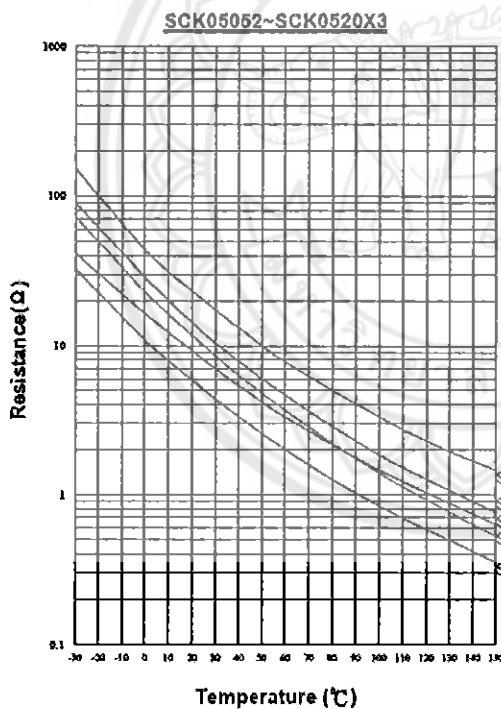
### ■ Power Derating Curve



T<sub>U</sub>: Maximum operating temperature (°C)  
 T<sub>L</sub>: Minimum operating temperature (°C)

For example : Ambient temperature(T<sub>a</sub>)=55°C  
 Maximum operating temperature(T<sub>U</sub>)=200°C  
 $P_{Ta} = (T_U - T_a) / (T_U - 25) \times P_{max} \approx 82\% P_{max}$

### ■ R-T Characteristic Curves (representative)

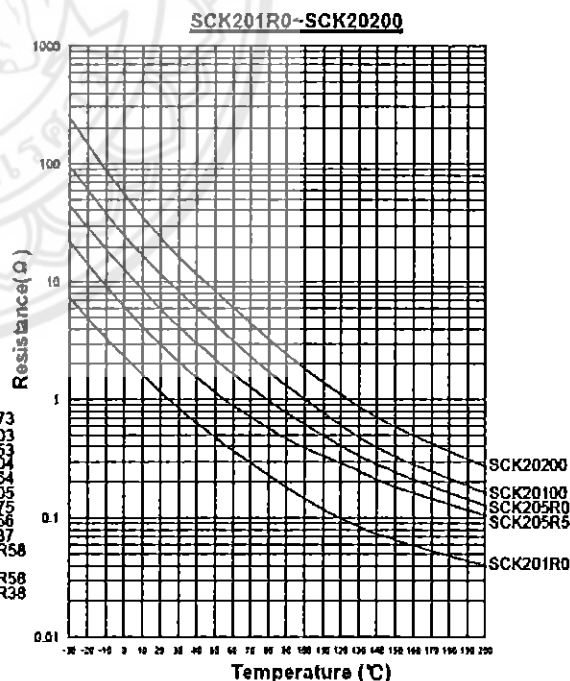
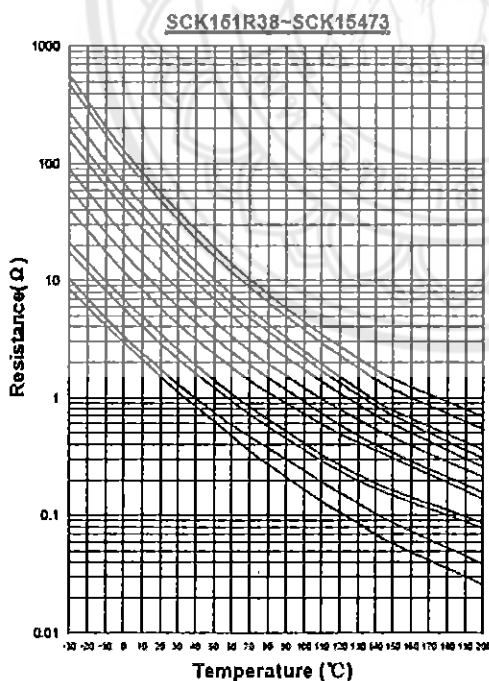
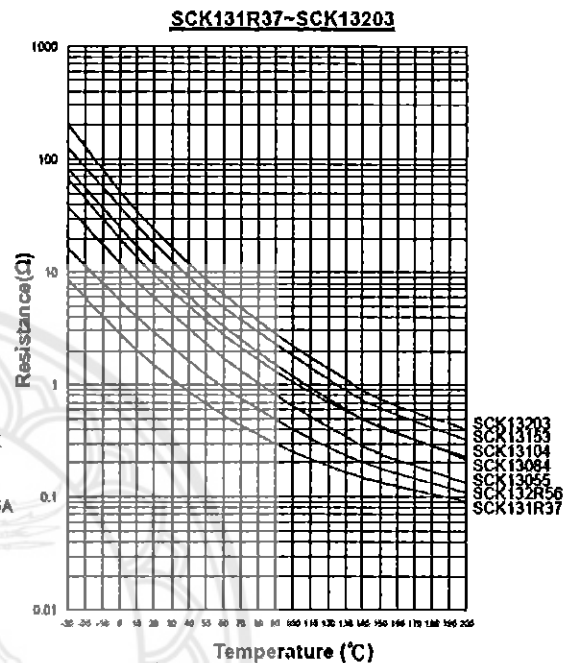
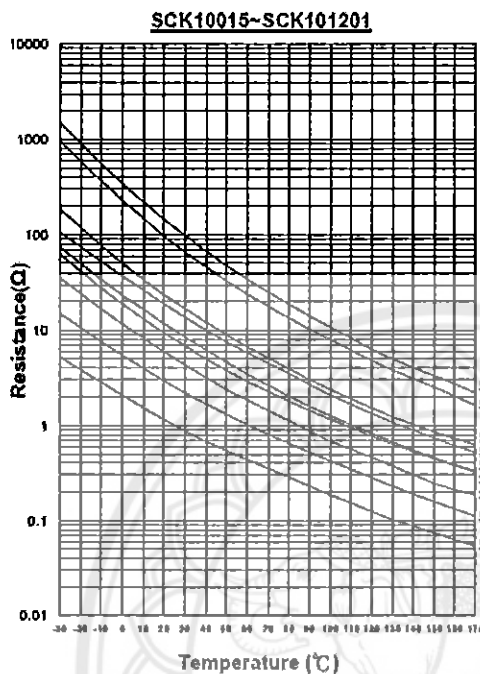


# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



■ R-T Characteristic Curves (representative)



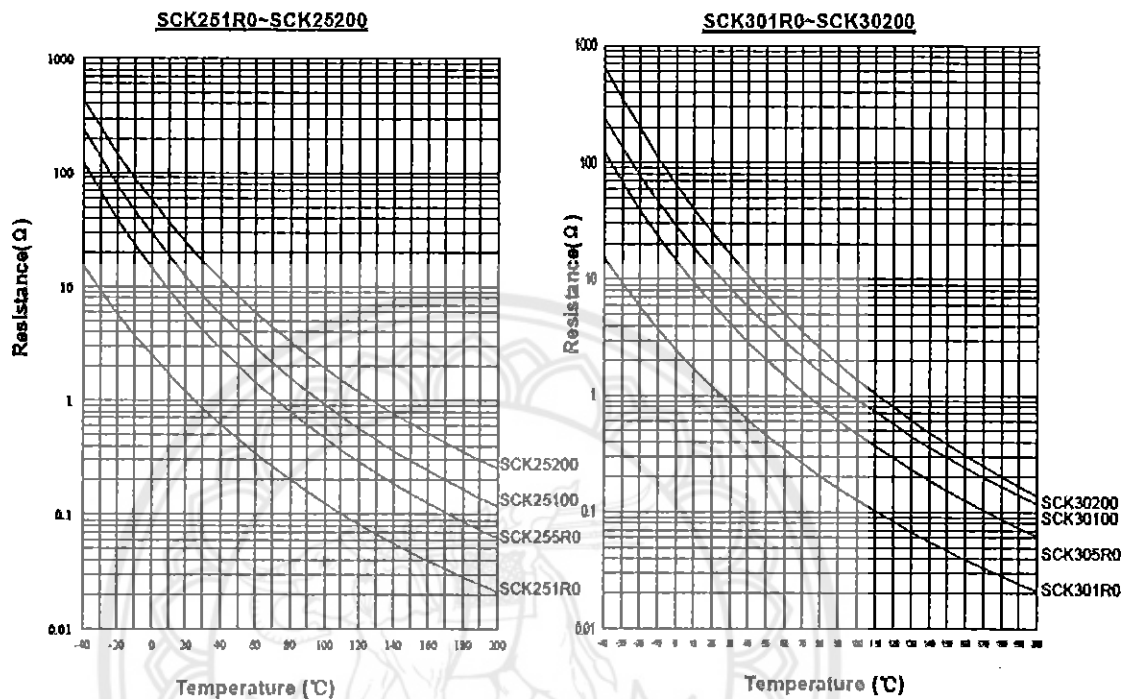


# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ R-T Characteristic Curves (representative)

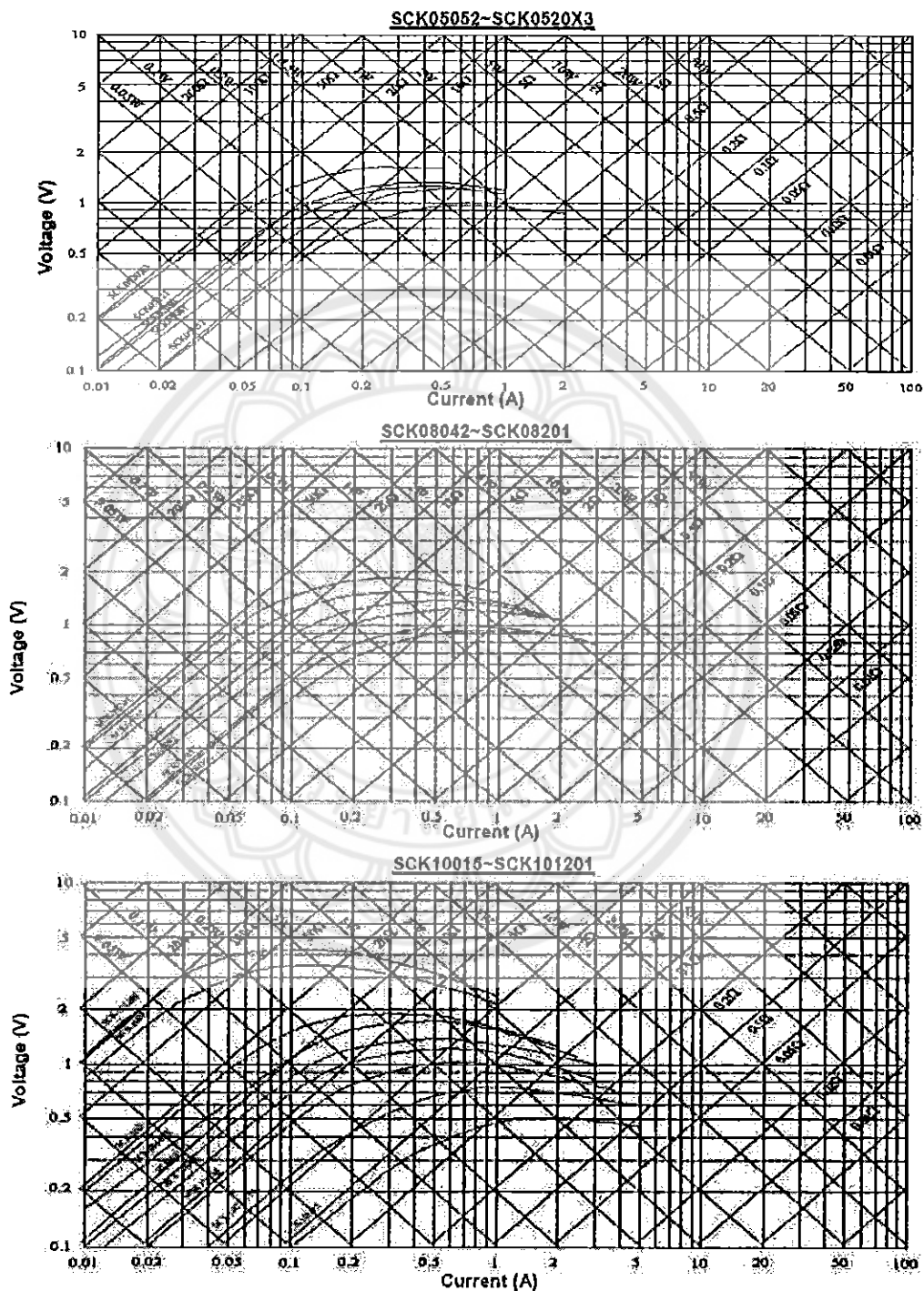


# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter

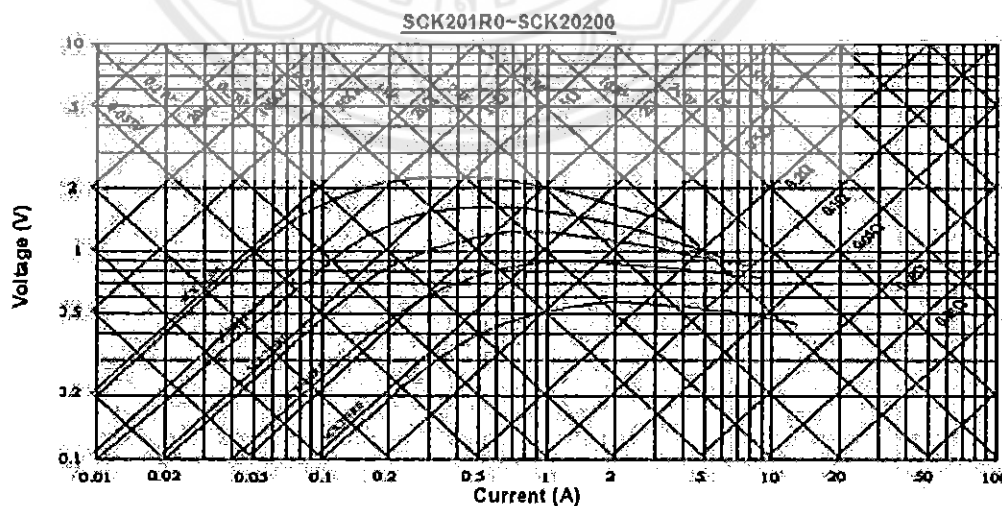
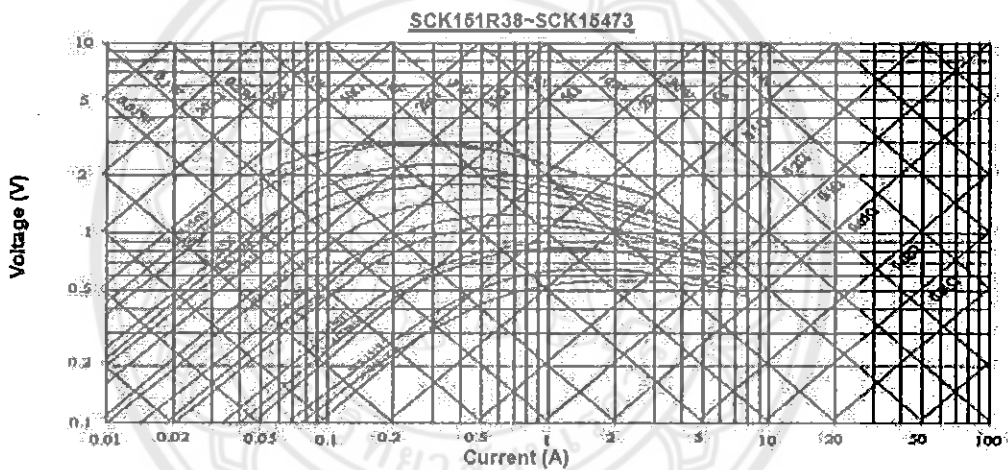
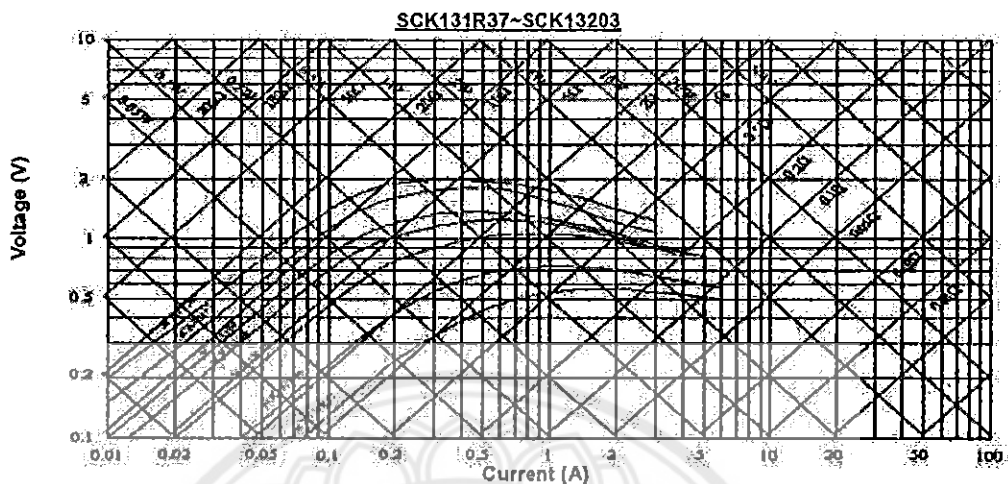


### ■ V-I Characteristic Curves (representative)



# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter

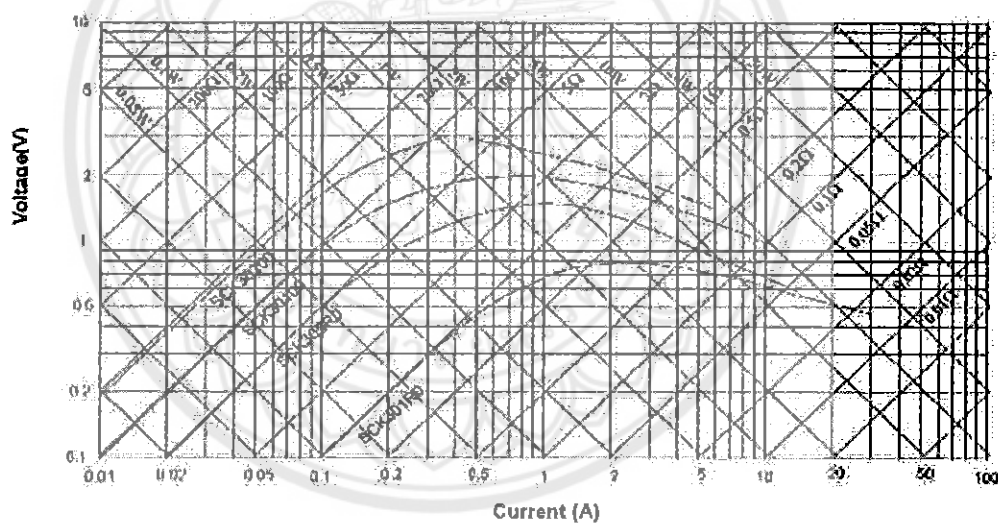
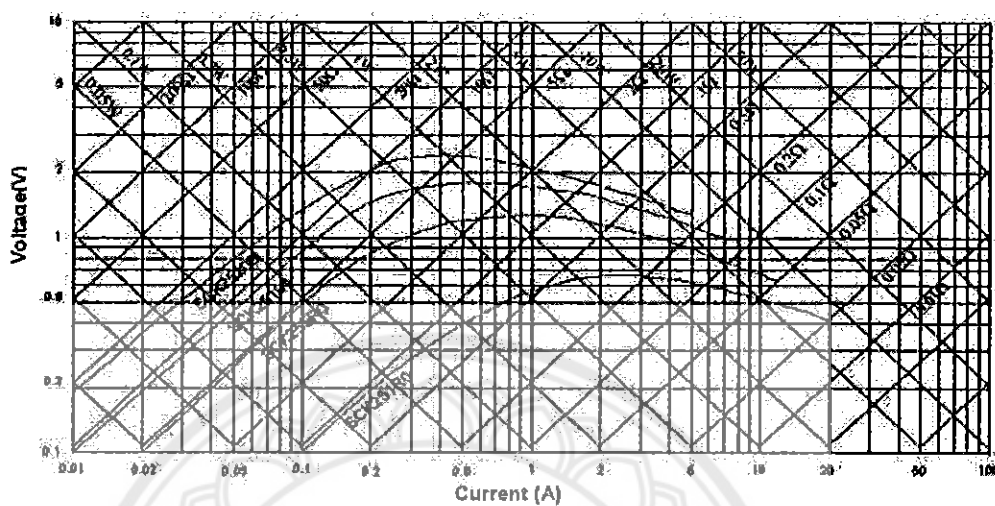


# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



SCK251R0-SCK25200



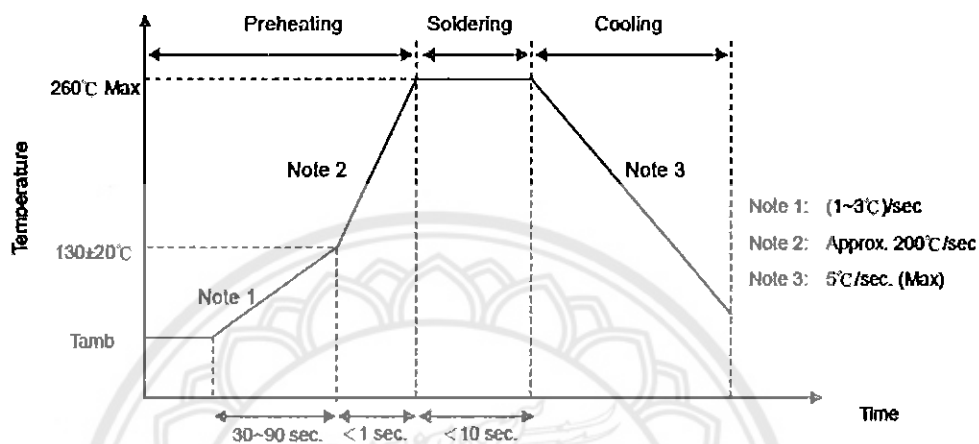
# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Soldering Recommendation

#### ● Wave Soldering Profile



#### ● Recommended Reworking Conditions with Soldering Iron

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

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Reliability

Item	Standard	Test conditions / Methods	Specifications															
Tensile Strength of Terminals	IEC60068-2-21	Gradually applying the force specified and keeping the unit fixed for 10±1 sec.  Terminal diameter (mm)      Force (Kg) <hr/> 0.5<d≤0.80      1.0 0.8<d≤1.25      2.0	No visible damage															
Solderability	IEC60068-2-20	235 ± 5°C , 2 ± 0.5 sec.	At least 95% of terminal electrode is covered by new solder															
Resistance to Soldering Heat	IEC60068-2-20	260 ± 5°C , 10 ± 1 sec.	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 10 %															
High Temperature Storage	IEC60068-2-2	T <sub>u</sub> ± 5°C x 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 20 %															
Damp Heat, Steady State	IEC60068-2-3	40 ± 2°C , 90-95% RH, 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 20 %															
Rapid Change of Temperature	IEC60068-2-14	The conditions shown below shall be repeated 5 cycles <table border="1"> <thead> <tr> <th>Step</th> <th>Temperature (°C)</th> <th>Period (minutes)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>T<sub>L</sub> ± 5</td> <td>30 ± 3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Room temperature</td> <td>5 ± 3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>T<sub>u</sub> ± 5</td> <td>30 ± 3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Room temperature</td> <td>5 ± 3</td> </tr> </tbody> </table>	Step	Temperature (°C)	Period (minutes)	1	T <sub>L</sub> ± 5	30 ± 3	2	Room temperature	5 ± 3	3	T <sub>u</sub> ± 5	30 ± 3	4	Room temperature	5 ± 3	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 20 %
Step	Temperature (°C)	Period (minutes)																
1	T <sub>L</sub> ± 5	30 ± 3																
2	Room temperature	5 ± 3																
3	T <sub>u</sub> ± 5	30 ± 3																
4	Room temperature	5 ± 3																
Life Test	IEC 60539-1	25 ± 5°C, I <sub>max</sub> x 1000 ± 24 hrs	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 20 %															
Endurance	UL1434	25 ± 5°C, I <sub>max</sub> , C <sub>T</sub> , 1min ON / 5 mins OFF x 1000 cycles C <sub>T</sub> = Capacitance at 240 Vac	No visible damage   ΔR <sub>25</sub> /R <sub>25</sub>   ≤ 20 %															
Insulation Test	MIL-STD-202F-Method 302	1000 V <sub>DC</sub> 1 min	No visible damage ≥ 500 MΩ															

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



### ■ Packaging

#### ● Taping Specification

For S (Straight lead) type and F (Y kink lead) type

Figure A.

For S lead and F lead  $\phi$  8 to  $\phi$ 10 Type.

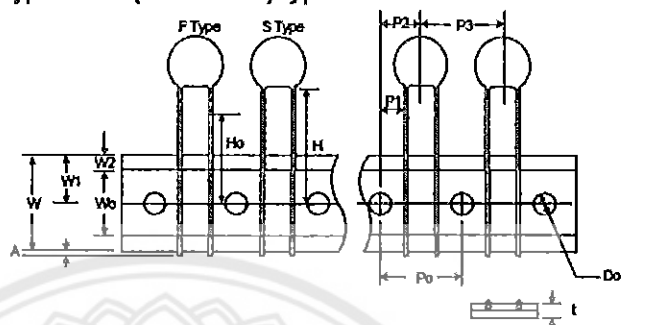


Figure B.

For S lead  $\phi$ 13 to  $\phi$ 20 type  
and F lead  $\phi$ 13 to  $\phi$ 20 type

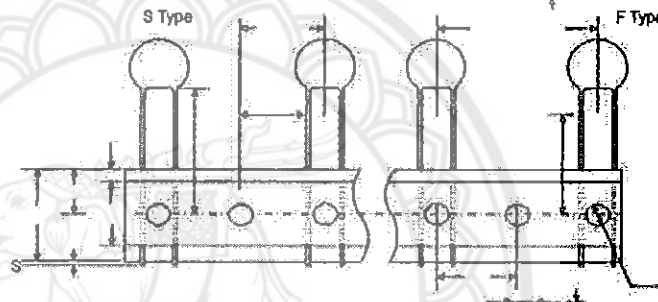
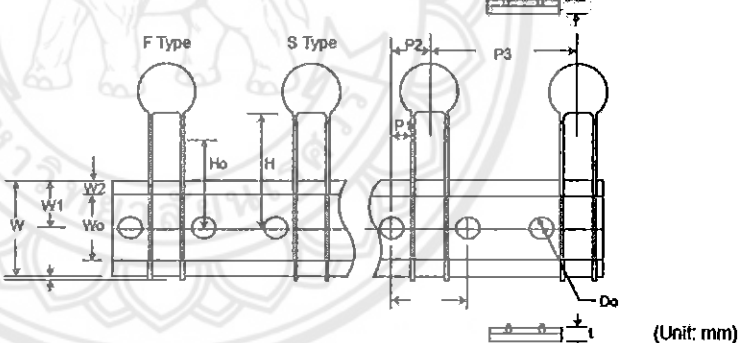


Figure C.

For S lead  $\phi$ 13 to  $\phi$ 20 type  
and F lead  $\phi$ 13 to  $\phi$ 20 type



Taping Code	Body Size	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	H	$H_0$	$W_0$	$W_1$	$W_2$	W	A	$D_0$	l	Figure
		$\pm 0.5$	$\pm 0.7$	$\pm 1.3$	$\pm 0.5$	$+2/-0$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 0.5$	Max.	$\pm 0.5$	Max.	$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	
A ( $P_0=12.7$ )	$\phi 08$	12.7	3.45	6.35	12.7	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\phi 10$	12.7	3.45	6.35	12.7	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\phi 13$	12.7	8.55	12.7	25.4	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
	$\phi 15$	12.7	8.45	12.7	25.4	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
	$\phi 20$	12.7	8.45	12.7	25.4	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
E ( $P_0=15.0$ )	$\phi 08$	15	4.6	7.5	15	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\phi 10$	15	4.6	7.5	15	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\phi 13$	15	3.35	7.5	30	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C
	$\phi 15$	15	3.25	7.5	30	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C
	$\phi 20$	15	3.25	7.5	30	18	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C

# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



For I Type (Inner kink lead)

Figure A.  
For I lead  $\Phi 8$  to  $\Phi 10$  type.

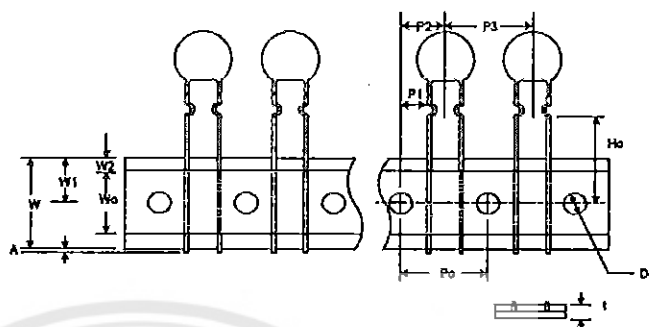


Figure B.  
For I lead  $\Phi 13$  to  $\Phi 20$  type.

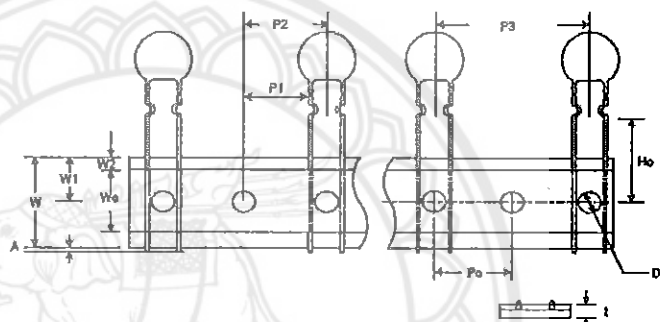


Figure C.  
For I lead  $\Phi 13$  to  $\Phi 20$  type.

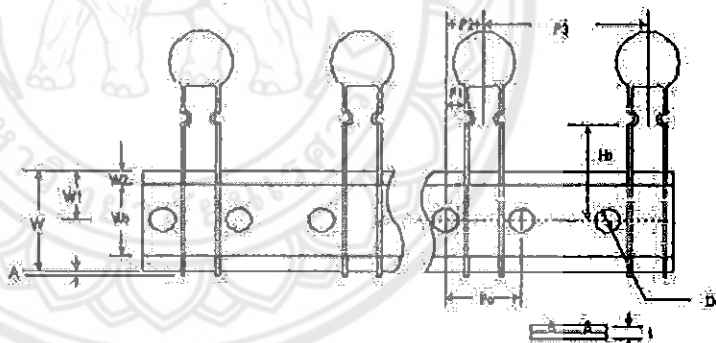
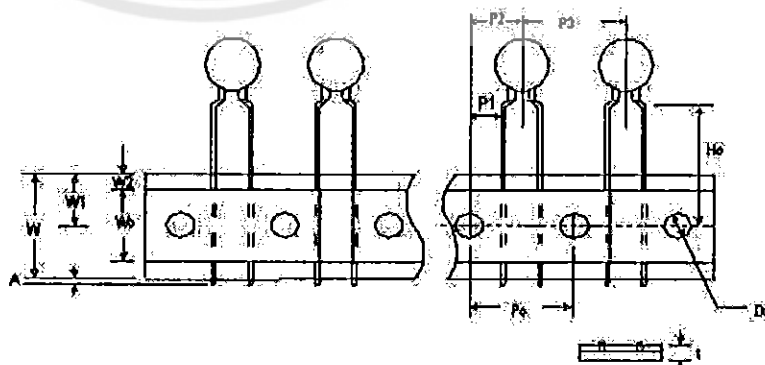


Figure D.  
For I lead  $\Phi 5$  type.





# NTC Thermistor: SCK Type

## Power Thermistor for Inrush Current Limiter



(Unit: mm)

Taping Code	Body Size	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$H_0$	$W_0$	$W_1$	$W_2$	$W$	$A$	$D_0$	$t$	Figure
		$\pm 0.5$	$\pm 0.7$	$\pm 1.3$	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 0.5$	Max.	$\pm 0.5$	Max.	$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	
A ( $P_0=12.7$ )	$\Phi 05$	12.7	3.45	6.35	12.7	16	12	9	3	18	1	4	0.6	D
	$\Phi 08$	12.7	3.45	6.35	12.7	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\Phi 10$	12.7	3.45	6.35	12.7	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\Phi 13$	12.7	8.55	12.7	25.4	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
	$\Phi 15$	12.7	8.45	12.7	25.4	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
	$\Phi 20$	12.7	8.45	12.7	25.4	16	12	9	3	18	1	4	0.6	B
E ( $P_0=15.0$ )	$\Phi 05$	15	4.6	7.5	15	16	12	9	3	18	1	4	0.6	D
	$\Phi 08$	15	4.6	7.5	15	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\Phi 10$	15	4.6	7.5	15	16	12	9	3	18	1	4	0.6	A
	$\Phi 13$	15	3.35	7.5	30	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C
	$\Phi 15$	15	3.25	7.5	30	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C
	$\Phi 20$	15	3.25	7.5	30	16	12	9	3	18	1	4	0.6	C

### Quantity

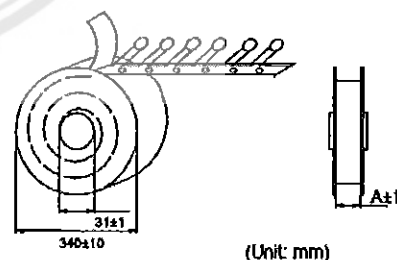
#### ● Bulk Packing

Body Size/mm	Quantity (pcs/bag)
$\Phi 05$	200
$\Phi 08$	200
$\Phi 10$	200
$\Phi 13$	100
$\Phi 15$	100
$\Phi 20$	500 (pcs/ box*)
$\Phi 25$	168 (pcs/ box*)
$\Phi 30$	168 (pcs/ box*)

\* Bulk packaging material in the form of cardboard strips

#### ● Reel Packing

Body Size/mm	Quantity (pcs/reel)
$\Phi 05$	2500
$\Phi 08$	1500
$\Phi 10$	1500
$\Phi 13$	750
$\Phi 15$	750
$\Phi 20$	500



(Unit: mm)

Body Size	$\Phi 05$	$\Phi 08\sim\Phi 20$
A	40mm	55mm

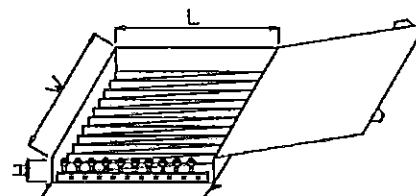
## NTC Thermistor: SCK Type

### Power Thermistor for Inrush Current Limiter



#### ● Ammo Packing

Body Size/mm	Quantity (pcs/box)
Φ05	1000
Φ08	1000
Φ10	1000
Φ13(P <sub>0</sub> =12.7)	500
Φ13(P <sub>0</sub> =15)	1000
Φ15	500



(Unit mm)

Body Size	W	L	H
Φ5-Φ15	348	275	60

#### ■ Storage Conditions of Products

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



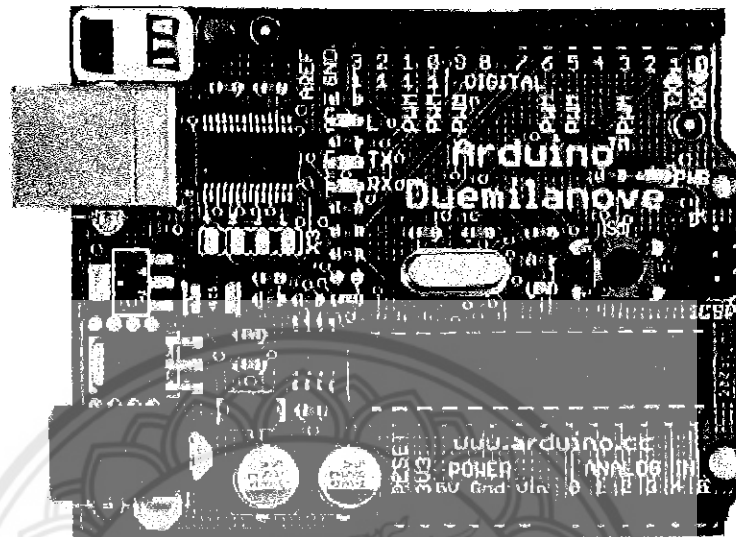
ภาคผนวก ข

รายละเอียด บอร์ด อาร์ดูไอโน่ ดูเอมิลาร์นอฟ

(Arduino Duemilanove)



# Arduino Duemilanove



## Product Overview

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

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

## Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



*radiospares*

**RADIONICS**





# Technical Specification

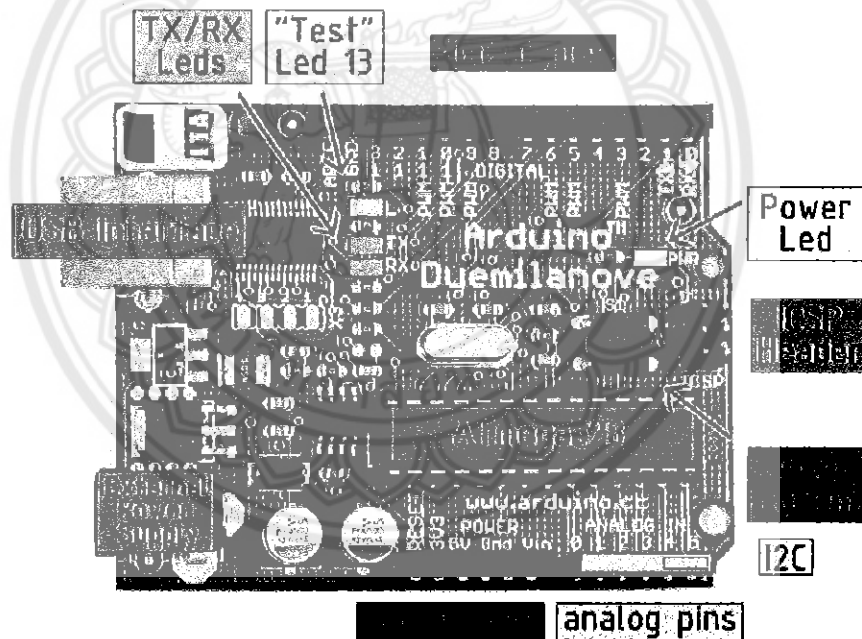


EAGLE files: [arduino-duemilanove-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-duemilanove-schematic.pdf](#)

## Summary

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

## the board



**radiospares RADIONICS**



## Power

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

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

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

The power pins are as follows:

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

## Memory

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

## Input and Output

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

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



**radiospares**

**RADIONICS**



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

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

There are a couple of other pins on the board:

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

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

## Communication

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

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

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

## Programming

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

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

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



**radiospares**

**RADIONICS**







# XIAMEN OCULAR



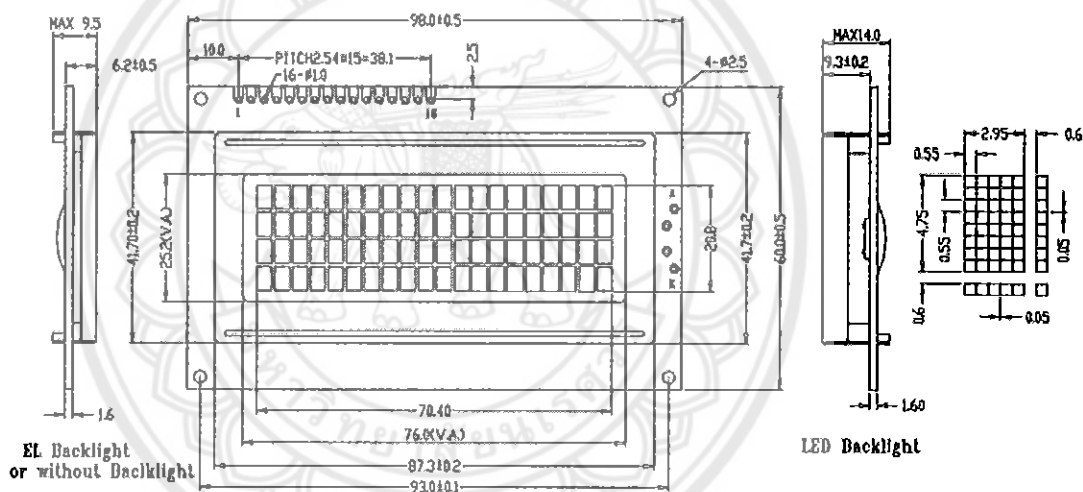
## GDM2004D

## SPECIFICATIONS OF LCD MODULE

### Features

1. 5x8 dots
2. Built-in controller (S6A0069 or equivalent)
3. +5V power supply
4. 1/16 duty cycle
5. LED Backlight

### Outline dimension



Unit: mm

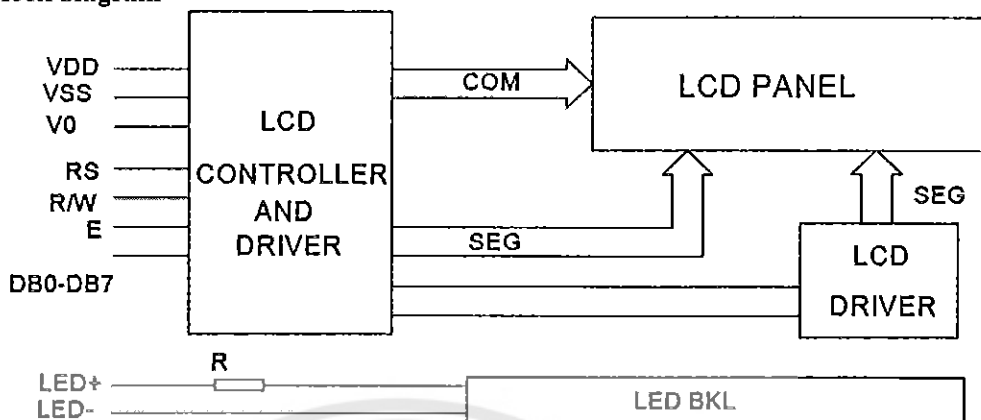
### Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	$V_{IN}$	$V_{SS}$	-	$V_{DD}$	V
Operating temperature range	$T_{op}$	0	-	+50	°C
Storage temperature range	$T_{st}$	-10	-	+60	°C
Environmental Humidity		RH ≤ 70%			
Expected Life Time		≥ 50000			H

Wide temperature range is available  
(operating/storage temperature as -20/+70/-30/+80°C)

GDM2004D-FL-YBW

Block diagram

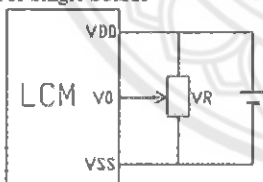


Interface pin description

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V <sub>SS</sub>	Power supply	Signal ground for LCM (GND)
2	V <sub>DD</sub>		Power supply for logic (+5V) for LCM
3	V <sub>0</sub>		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0-DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4-DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power Supply	Power supply for BKL (Anode)
16	LED-		Power supply for BKL (GND)

Contrast adjust

A) For Single Source



For Module with Normal Temperature Range Fluid

V<sub>DD</sub>-V<sub>0</sub>: LCD Driving voltage

VR: 10k~20k

## GDM2004D-FL-YBW

## Optical characteristics

STN type display module (Ta=25°C, VDD=5.0V)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	θ	Cr ≥ 2	-60	-	35	deg
	Φ		-40	-	40	
Contrast ratio	Cr		-	15	-	-
Response time (rise)	Tr	-	-	150	250	ms
Response time (fall)	Tf	-	-	150	250	

## Electrical characteristics

## LED ratings

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	3.8	4.0	4.4	V
Forward current	I <sub>F</sub>		240		mA
Power	P			1.01	W
Peak wave length	λ <sub>p</sub>		568		nm
Luminance	L <sub>v</sub>		185		Cd/m <sup>2</sup>
Operating temperature range	VOP	-20	-	+70	°C
Storage temperature range	VST	-25	-	+80	

## DC characteristics

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	V <sub>DD</sub> -V <sub>0</sub>	Ta=25°C	-	4.6	-	V
Input voltage	V <sub>DD</sub>		4.7	-	5.5	
Backlight supply voltage	V <sub>F</sub>		-	4.1	4.3	
Supply current	I <sub>DD</sub>	Ta=25°C, V <sub>DD</sub> =5.0V	-	1.5	3	mA
Backlight supply current	I <sub>F</sub>	V <sub>DD</sub> =5.0V R=6.8	150			
Input leakage current	I <sub>IKG</sub>		-	-	1.0	uA
"H" level input voltage	V <sub>BH</sub>		2.2	-	V <sub>DD</sub>	V
"L" level input voltage	V <sub>BL</sub>	Twice initial value or less	0	-	0.6	
"H" level output voltage	V <sub>OH</sub>	LOH=0.25mA	2.4	-	-	
"L" level output voltage	V <sub>OL</sub>	LOH=1.6mA	-	-	0.4	

## Read cycle (Ta=25°C, VDD=5.0V)

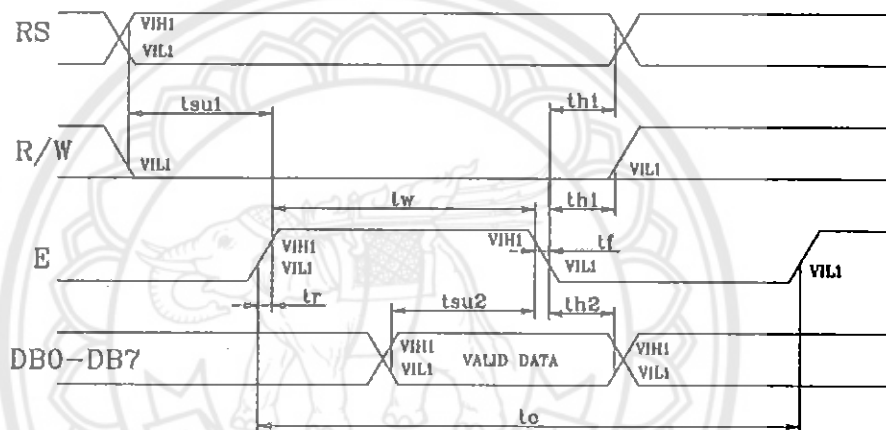
Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t <sub>e</sub>	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t <sub>w</sub>		300	-	-	
Enable rise/fall time	t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub>		-	-	25	
RS; R/W setup time	t <sub>su</sub>	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t <sub>sh</sub>	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t <sub>d</sub>	DB0-DB7	60	-	90	
Read data hold time	t <sub>dh</sub>		20	-	-	

GDM2004D-FL-YBW

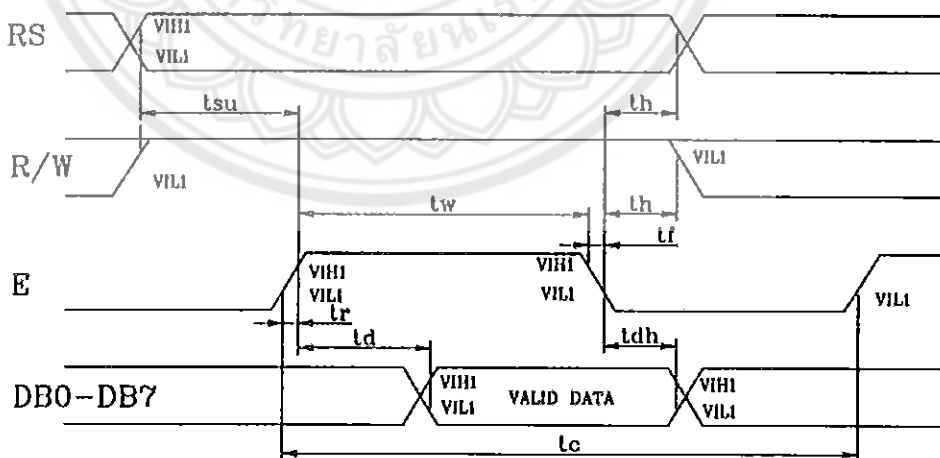
Write cycle

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	$t_e$	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	$t_w$		300	-	-	
Enable rise/fall time	$t_r, t_f$		-	-	25	
RS; R/W setup time	$t_{su1}$	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	$t_{h1}$	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	$t_{su2}$	DB0-DB7	60	-	-	
Read data hold time	$t_{h2}$		10	-	-	

Write mode timing diagram



Read mode timing diagram



## GDM2004D-FL-YBW

## Instruction description

## Outline

To overcome the speed difference between the internal clock of KS0066U and the MPU clock, KS0066U performs internal operations by storing control information to IR or DR. The internal operation is determined according to the signal from MPU, composed of read/write and data bus (Refer to Table7).

Instructions can be divided largely into four groups:

- 1) KS0066U function set instructions (set display methods, set data length, etc.)
- 2) Address set instructions to internal RAM
- 3) Data transfer instructions with internal RAM
- 4) Others

The address of the internal RAM is automatically increased or decreased by 1.

Note: during internal operation, busy flag (DB7) is read "High".

Busy flag check must be preceded by the next instruction.

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2 fuss for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "LOW".

## Contents

- 1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, brings the cursor to the left edge on the first line of the display.

Make the entry mode increment (I/D="High").

- 2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

Set DDRAM address to "00H" into the address counter.

Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted.

Contents of DDRAM does not change.

- 3) Entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D: increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D="high", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D="Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is increased by 1.

\*CGRAM operates the same way as DDRAM, when reading from or writing to CGRAM.

(I/D="high", shift left, I/D="Low", Shift right).

- 4) Display ON/OFF control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

## GDM2004D-FL-YBW

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

**D: Display ON/OFF control bit**

When D="High", entire display is turned on.

When D="Low", display is turned off, but display data remains in DDRAM.

**C: cursor ON/OFF control bit**

When D="High", cursor is turned on.

When D="Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register preserves its data.

**B: Cursor blink ON/OFF control bit**

When B="High", cursor blink is on, which performs alternately between all the "High" data and display characters at the cursor position.

When B="Low", blink is off.

## 5) Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-

Shifting of right/left cursor position or display without writing or reading of display data.

This instruction is used to correct or search display data. (Refer to Table 6)

During 2-line mode display, cursor moves to the 2<sup>nd</sup> line after the 40<sup>th</sup> digit of the 1<sup>st</sup> line.

When display data is shifted repeatedly, each line is shifted individually.

When display shift is performed, the contents of the address counter are not changed.

Shift patterns according to S/C and R/L bits

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1
1	0	Shift all the display to the left, cursor moves according to the display
1	1	Shift all the display to the right, cursor moves according to the display

## 6) Function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-

**DL: Interface data length control bit**

When DL="High", it means 8-bit bus mode with MPU.

When DL="Low", it means 4-bit bus mode with MPU. Hence, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode.

When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data twice.

**N: Display line number control bit**

When N="Low", 1-line display mode is set.

When N="High", 2-line display mode is set.

**F: Display line number control bit**

When F="Low", 5x8 dots format display mode is set.

When F="High", 5x11 dots format display mode.

## 7) Set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.

The instruction makes CGRAM data available from MPU.

## GDM2004D-FL-YBW

## 8) Set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.

This instruction makes DDRAM data available from MPU.

When 1-line display mode (N=LOW), DDRAM address is from "00H" to "4FH".

In 2-line display mode (N=High), DDRAM address in the 1<sup>st</sup> line form "00H" to "27H", and DDRAM address

in the 2<sup>nd</sup> line is from "40H" to "67H".

## 9) Read busy flag &amp; address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether KS0066U is in internal operation or not.

If the resultant BF is "High", internal operation is in progress and should wait BF is to be LOW, which by then if the next instruction can be performed. In this instruction you can also read the value of the address counter.

## 10) Write data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM from DDRAM, and CGRAM, is set by the previous address set instruction (DDRAM address set, CGRAM address set).

RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM.

After write operation. The address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

## 11) Read data from RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If the address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that has been read first is invalid, as the direction of AC is not yet determined. If RAM data is read several times without RAM address instructions set before, read operation, the correct RAM data can be obtained from the second. But the first data would be incorrect, as there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set instruction,

It also transfers RAM data to output data register.

After read operation, address counter is automatically increased/decreased by 1 according to the entry mode.

After CGRAM read operation, display shift may not be executed correctly.

NOTE: In case of RAM write operation, AC is increased/decreased by 1 as in read operation.

At this time, AC indicates next address position, but only the previous data can be read by the read instruction.

## GDM2004D-FL-YBW

## Instruction table

Instruction	Instruction code										Description	Execution Time (fosc=270 KHZ)
	RS	RV	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRA and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	1/D	5H	Assign cursor moving direction and blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: -2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE: When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2fosc is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

DDRAM address:

																Display position			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

DDRAM address



GDM2004D-FL-YBW

Standard character pattern

Upper 4bit / Lower 4bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)															
LLLH	(2)															
LLHL	(3)															
LLHH	(4)															
LHLL	(5)															
LHLH	(6)															
LHHL	(7)															
LHHH	(8)															
HLLL	(9)															
HLLH	(10)															
HLHL	(11)															
HLHH	(12)															
HHLL	(13)															
HHLH	(14)															
HHHL	(15)															
HHHH	(16)															





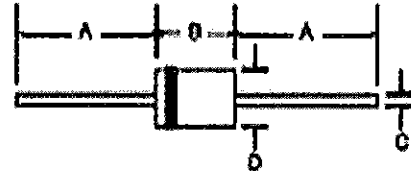
# 1N4001 - 1N4007

## 1.0A RECTIFIER

Please click here to visit our online spice models database.

### Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)



### Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Melted Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-033D
- Termination: Finish - Bright Tin, Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 750
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)

Dim	DO-41 Plastic	Min	Max
A	25.40	—	—
B	4.08	3.21	—
C	0.71	0.64	—
D	2.00	3.72	—

All Dimensions in mm

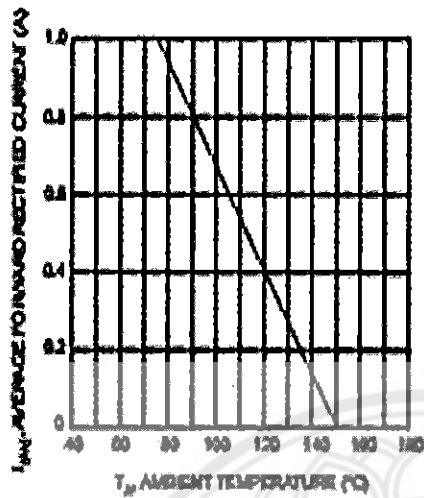
### Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 50/60Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

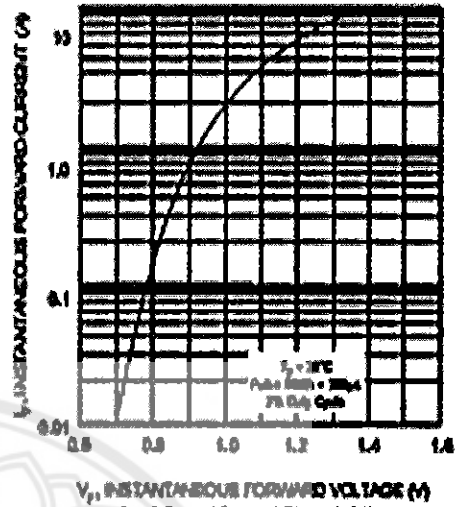
Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Reverse Voltage	V <sub>RM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Noting Peak Reverse Voltage	V <sub>RM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V	
DC Blocking Voltage	V <sub>RM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Peak Reverse Current (I <sub>R</sub> ) @ T <sub>A</sub> = 75°C	I <sub>R</sub>	1.0								mA
Non-Repulsive Peak Forward Surge Current (I <sub>FSM</sub> ) single half sine-wave superimposed on rated load	I <sub>FSM</sub>	30								A
Forward Voltage (V <sub>F</sub> ) @ I <sub>F</sub> = 1.0A	V <sub>F</sub>	1.0								V
Peak Reverse Current (I <sub>R</sub> ) @ T <sub>A</sub> = 25°C at Rated DC Blocking Voltage (V <sub>RM</sub> ) @ T <sub>A</sub> = 100°C	I <sub>R</sub>	5.0								mA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C <sub>J</sub>	15			2				pF	
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R <sub>θJA</sub>	100								K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T <sub>A</sub>	+150								°C
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>A</sub> T <sub>STG</sub>	-55 to +150								°C

- Note: 1. Leads established at ambient temperature at a distance of 0.5mm from the case.  
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 1.0V DC.  
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS): All applicable Part 41 exemptions apply, see EU Direct in 2002/95/EC Annex Notes.

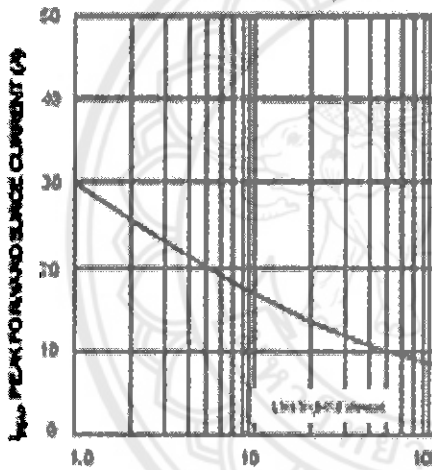
# DIODES



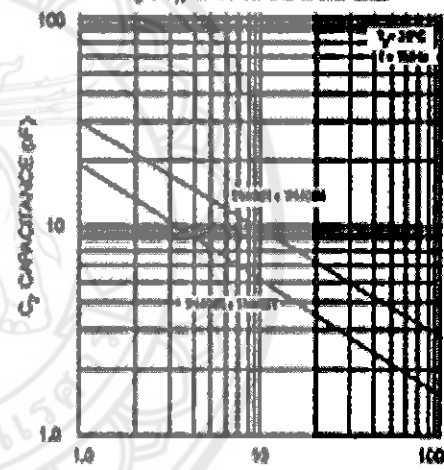
$T_{amb}$  AMBIENT TEMPERATURE (°C)  
Fig. 1 Forward Current During Curve



$V_f$  INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE (V)  
Fig. 2 Typical Forward Characteristics



NUMBER OF CYCLES AT 60 Hz  
Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Forward Surge Current



$V_R$  REVERSE VOLTAGE (V)  
Fig. 4 Typical Junction Capacitance

## Ordering Information (Table 4)

Device	Packaging	Shipping
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770-A
1N4004-T	DO-41 Plastic	EX/Tape & Reel, 13-inch

NOTE 4. For packaging details, visit our website at <http://www.diodes.com/resources/html/pb000001.pdf>.



**IMPORTANT NOTICE**

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

**LIFE SUPPORT**

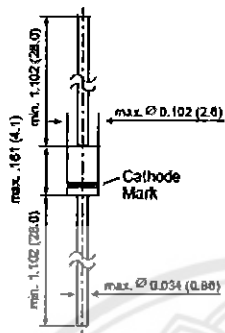
Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.



# 1N4728 THRU 1N4764

## ZENER DIODES

### DO-41 Glass



Dimensions in inches and (millimeters)

### FEATURES

- ◆ Silicon Planar Power Zener Diodes
- ◆ For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating.
- ◆ Standard Zener voltage tolerance is  $\pm 10\%$ . Add suffix "A" for  $\pm 5\%$  tolerance. Other Zener voltages and tolerances are available upon request.
- ◆ These diodes are also available in the MELF case with type designation ZM4728 thru ZM4764

### MECHANICAL DATA

Case: DO-41 Glass Case  
Weight: approx. 0.35 g

### MAXIMUM RATINGS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

	SYMBOL	VALUE	UNIT
Zener Current (see Table "Characteristics")			
Power Dissipation at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	1.0 <sup>(1)</sup>	Watts
Junction Temperature	$T_j$	175	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_s$	-65 to +175	$^\circ\text{C}$

Characteristics at  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Thermal Resistance Junction to Ambient Air	$R_{thJA}$	—	—	170 <sup>(1)</sup>	$^\circ\text{C/W}$
Forward Voltage at $I_F = 200\text{ mA}$	$V_F$	—	—	1.2	Volts

#### NOTES:

(1) Valid provided that electrodes at a distance of 10mm from case are kept at ambient temperature

 GENERAL  
SEMICONDUCTOR®

# 1N4728 THRU 1N4764

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

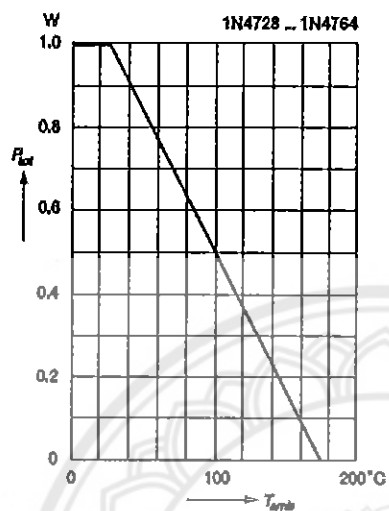
Type	Nominal Zener voltage <sup>(1)</sup> at I <sub>ZT</sub> V <sub>Z</sub> V	Test current I <sub>ZT</sub> mA	Maximum Zener impedance <sup>(1)</sup>			Maximum reverse leakage current		Surge current at T <sub>A</sub> = 25°C I <sub>R</sub> mA	Maximum regulator current <sup>(2)</sup> I <sub>ZM</sub> mA
			Z <sub>ZT</sub> at I <sub>ZT</sub> Ω	Z <sub>ZK</sub> Ω	at I <sub>ZK</sub> mA	I <sub>R</sub> μA	at V <sub>R</sub> V		
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	100	1	1380	276
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	50	1	1190	234
1N4731	4.3	59	9	400	1.0	10	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91
1N4741	11	23	8	700	0.25	5	8.4	414	83
1N4742	12	21	9	700	0.25	5	9.1	380	76
1N4743	13	19	10	700	0.25	5	9.9	344	69
1N4744	15	17	14	700	0.25	5	11.4	304	61
1N4745	16	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285	57
1N4746	18	14	20	750	0.25	5	13.7	250	50
1N4747	20	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225	45
1N4748	22	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205	41
1N4749	24	10.5	25	750	0.25	5	18.2	180	38
1N4750	27	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170	34
1N4751	30	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150	30
1N4752	33	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135	27
1N4753	36	7.0	50	1000	0.25	5	27.4	125	25
1N4754	39	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115	23
1N4755	43	6.0	70	1500	0.25	5	32.7	110	22
1N4756	47	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95	19
1N4757	51	5.0	95	1500	0.25	5	38.8	90	18
1N4758	56	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80	16
1N4759	62	4.0	125	2000	0.25	5	47.1	70	14
1N4760	68	3.7	150	2000	0.25	5	51.7	65	13
1N4761	75	3.3	175	2000	0.25	5	56.0	60	12
1N4762	82	3.0	200	3000	0.25	5	62.2	55	11
1N4763	91	2.8	250	3000	0.25	5	69.2	50	10
1N4764	100	2.5	350	3000	0.25	5	76.0	45	9

### NOTES:

- (1) The Zener impedance is derived from the 1KHz AC voltage which results when an AC current having an RMS value equal to 10% of the Zener current (I<sub>ZT</sub> or I<sub>ZK</sub>) is superimposed on I<sub>ZT</sub> or I<sub>ZK</sub>. Zener impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units.
- (2) Valid provided that electrodes at a distance of 10mm from case are kept at ambient temperature.
- (3) Measured under thermal equilibrium and DC test conditions.

**RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES 1N4728 THRU 1N4764**

Admissible power dissipation  
versus ambient temperature  
Valid provided that leads are kept at ambient  
temperature at a distance of 10 mm from case







ภาคผนวก จ

รายละเอียด irf 470

มหาวิทยาลัยพระนคร



**MegaMOS™ FET**

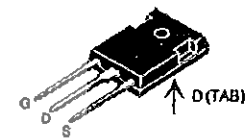
**IRFP 470**

$V_{DSS} = 500\text{ V}$   
 $I_{D(cont)} = 24\text{ A}$   
 $R_{DS(on)} = 0.23\ \Omega$

**N-Channel Enhancement Mode**



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	TO-247 AD
$V_{DSS}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	500 V	
$V_{DCA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$ ; $R_{\theta GS} = 1\text{ M}\Omega$	500 V	
$V_{GS}$	Continuous	$\pm 20$ V	
$V_{GS(tr)}$	Transient	$\pm 30$ V	
$I_{D25}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	24 A	
$I_{DM}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , pulse width limited by $T_{JM}$	96 A	
$I_{AR}$		24 A	
$E_{AR}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	30 mJ	
$dv/dt$	$I_D \leq I_{DM}$ , $dv/dt \leq 100\text{ A}/\mu\text{s}$ , $V_{GS} \leq V_{DSS}$ , $T_J \leq 150^\circ\text{C}$ , $R_{\theta} = 2\ \Omega$	5 V/ns	
$P_D$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	300 W	
$T_J$		-55...+150 °C	
$T_{JM}$		150 °C	
$T_{stg}$		-55...+150 °C	
$M_d$	Mounting torque	1.13/10 Nm/lb.in.	
Weight		6 g	
	Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s	300 °C	



G = Gate, D = Drain, S = Source, TAB = Drain

**Features**

- International standard packages
- Low  $R_{DS(on)}$  HDMOS™ process
- Rugged polysilicon gate cell structure
- High commutating  $dv/dt$  rating
- Fast switching times

**Applications**

- Switch-mode and resonant-mode power supplies
- Motor controls
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- DC choppers

**Advantages**

- Easy to mount with 1 screw (isolated mounting screw hole)
- Space savings
- High power density

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$V_{DSS}$	$V_{GS} = 0\text{ V}$ , $I_D = 250\ \mu\text{A}$	500		V
$V_{DS(on)}$	$V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = 250\ \mu\text{A}$	2		V
$I_{GS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}_{DC}$ , $V_{DS} = 0$			$\pm 100\text{ nA}$
$I_{OSS}$	$V_{GS} = 0.8 \cdot V_{DSS}$ , $V_{DS} = 0\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$			25 $\mu\text{A}$ 250 $\mu\text{A}$
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$ , $I_D = 0.5 \cdot I_{D25}$ Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$ , duty cycle $d \leq 2\%$			0.23 $\Omega$

IXYS reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions.

92605E(S/97)

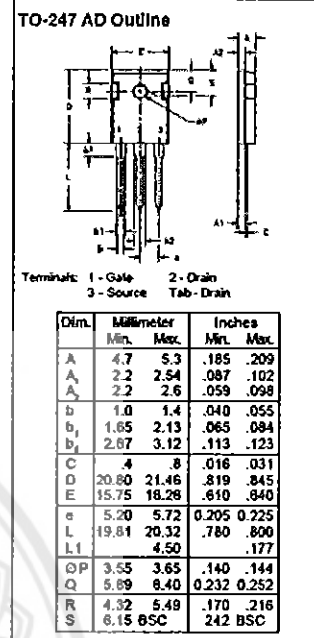
© 2000 IXYS All rights reserved

1 - 2

**IXYS** **IRFP470**

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$g_{fs}$	$V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 0.5 I_{DSS}$ , pulse test	11	21	S
$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		4200	pF
$C_{oss}$			450	pF
$C_{rss}$			135	pF
$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 0.5 \cdot V_{DSS}, I_D = 0.5 I_{DSS}$ $R_a = 2\ \Omega$ , (External)		24	30 ns
$t_r$			33	45 ns
$t_{d(off)}$			65	80 ns
$t_f$			30	40 ns
$Q_{g(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 0.5 \cdot V_{DSS}, I_D = 0.5 I_{DSS}$		160	190 nC
$Q_{gs}$			28	40 nC
$Q_{gd}$			75	85 nC
$R_{th(j-c)}$			0.42	K/W
$R_{th(c-r)}$			0.25	K/W

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$I_S$	$V_{GS} = 0\text{ V}$			24 A
$I_{SM}$	Repetitive; pulse width limited by $T_{JM}$			96 A
$V_{SD}$	$I_F = I_D, V_{GS} = 0\text{ V}$ , Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$ , duty cycle $d \leq 2\%$			1.5 V
$t_{rr}$	$I_F = I_D, -di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 100\text{ V}$	600		ns





ภาควิชาคณิตศาสตร์  
รายละเอียด PC817

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

- Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817V/PC817P)
- TUV (VDE0184) approved type is also available as an option.

### ■ Features

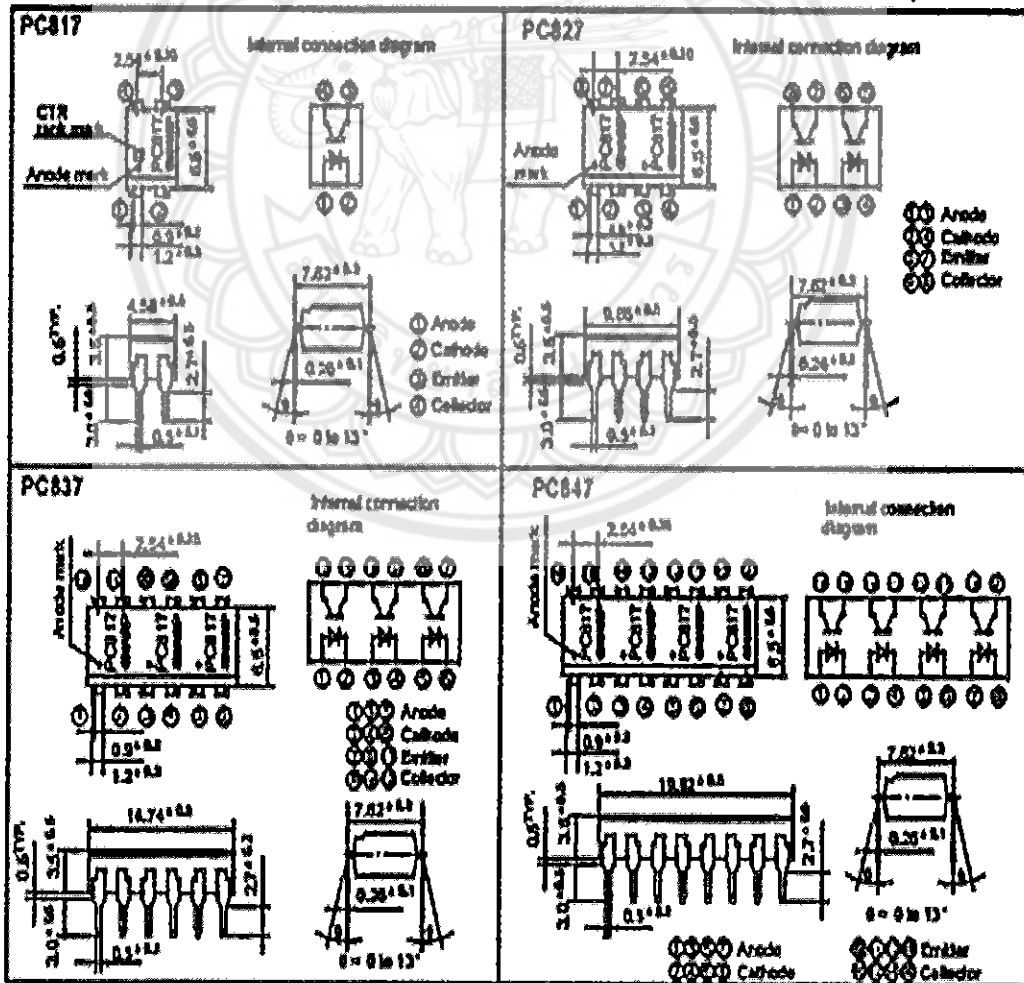
1. Current transfer ratio  
(CTR: MIN. 50% at  $I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} : 5000V_{rms}$ )
3. Compact dual-in-line package  
PC817 : 1-channel type  
PC827 : 2-channel type  
PC837 : 3-channel type  
PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### ■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### ■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



\* In the absence of cooperation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data sheets, etc. Contact SH-9827 in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

**■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Parameter	Symbol	Rating	Unit	
Input	Forward current	$I_F$	50	mA
	*1 Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEM}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECM}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
Total power dissipation	$P_{tot}$	200	mW	
*2 Isolation voltage	$V_{iso}$	5000	V <sub>rms</sub>	
Operating temperature	$T_{op}$	-30 to +100	°C	
Storage temperature	$T_{stg}$	-55 to +125	°C	
*3 Soldering temperature	$T_{sd}$	260	°C	

\*1 Pulse width  $\phi = 100\mu s$ , Duty ratio : 0.001

\*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

\*3 For 10 seconds

**■ Electro-optical Characteristics (Ta = 25°C)**

Parameter	Symbol	Conditions	MIN	TYP.	MAX	Unit
Input	Forward voltage	$V_F$ $I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	$V_{FM}$ $I_{FM} = 0.5A$	-	-	1.0	V
	Reverse current	$I_R$ $V_R = 5V$	-	-	10	$\mu A$
	Terminal capacitance	$C_T$ $V = 0, f = 1MHz$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	$I_{CDO}$ $V_{CE} = 20V$	-	-	$10^{-12}$	A
	*4 Current transfer ratio	CTR $I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%
Transfer characteristics	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$ $I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	$R_{iso}$ DC500V, 40 to 60% RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{10}$	-	$\Omega$
	Floating capacitance	$C_f$ $V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	$f_c$ $V_{CE} = 5V, I_C = 5mA, R_L = 300\Omega, \tau = 3dB$	-	30	-	kHz
		Response time	Rise time $t_r$	$V_{CE} = 5V, I_C = 5mA, R_L = 100\Omega$		4
Fall time $t_f$			3	18	$\mu s$	

\*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC807AB	A or B	80 to 260
PC807BC	B or C	130 to 400
PC807CD	C or D	200 to 600
PC807AC	A, B or C	80 to 400
PC807BD	B, C or D	130 to 600
PC807AD	A, B, C or D	80 to 600
PC807	A, B, C, D or No mark	50 to 600

① : 1 or 2 or 3 or 4

**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**

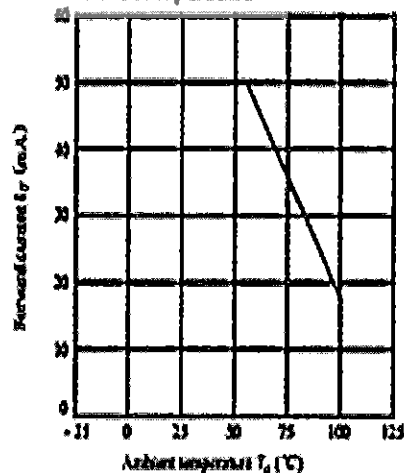


Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

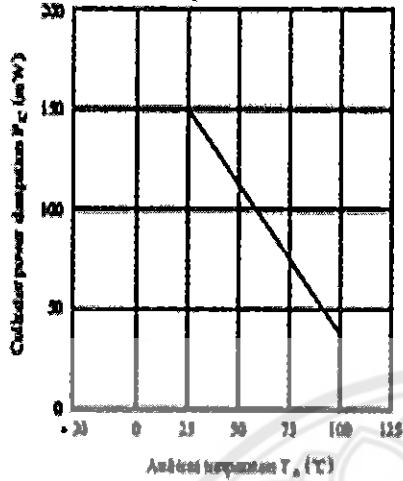


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

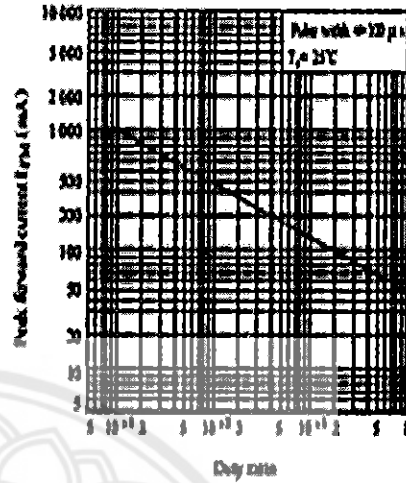


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

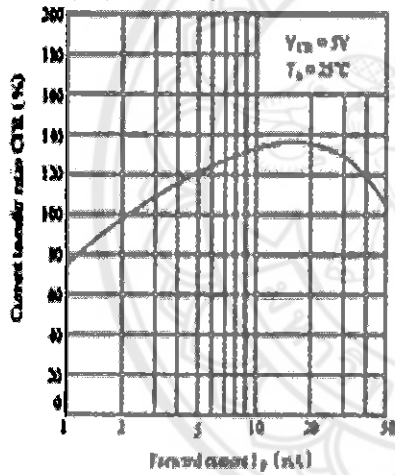


Fig. 8 Forward Current vs. Forward Voltage

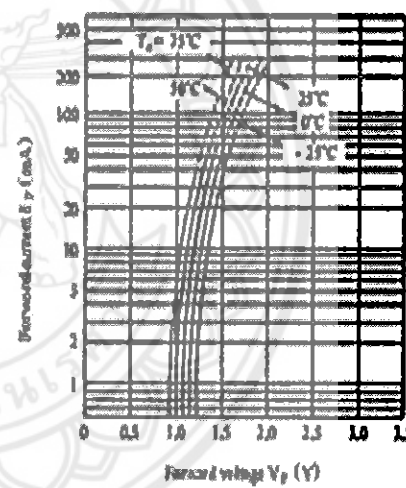


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

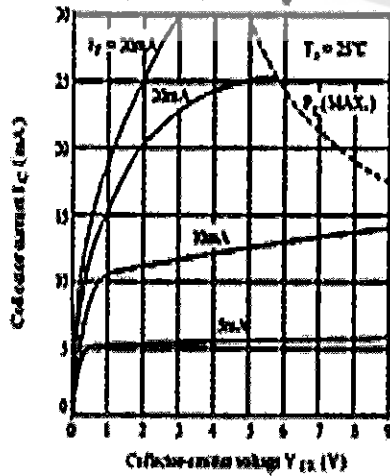
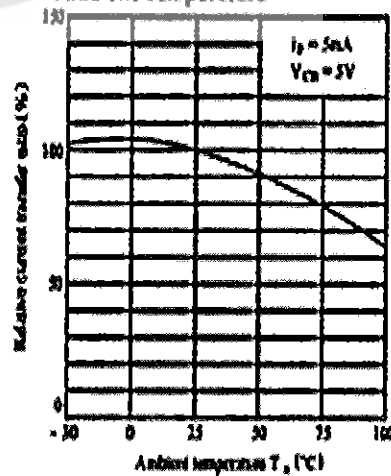


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายณัฐพงษ์ จันทิมา  
 ภูมิลำเนา 145/86 หมู่ 3 ต.หัวรอ อ.เมือง จ.พิษณุโลก  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมสาธิต  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nutvrnik@hotmail.co.th



ชื่อ นามร ตรีตุนา  
 ภูมิลำเนา 46/2 หมู่ 6 ต.วังทับไทร อ.สามโก้ จ.ฉะเชิงเทรา  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสามโก้วิทยา  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: eye\_palm@hotmail.com