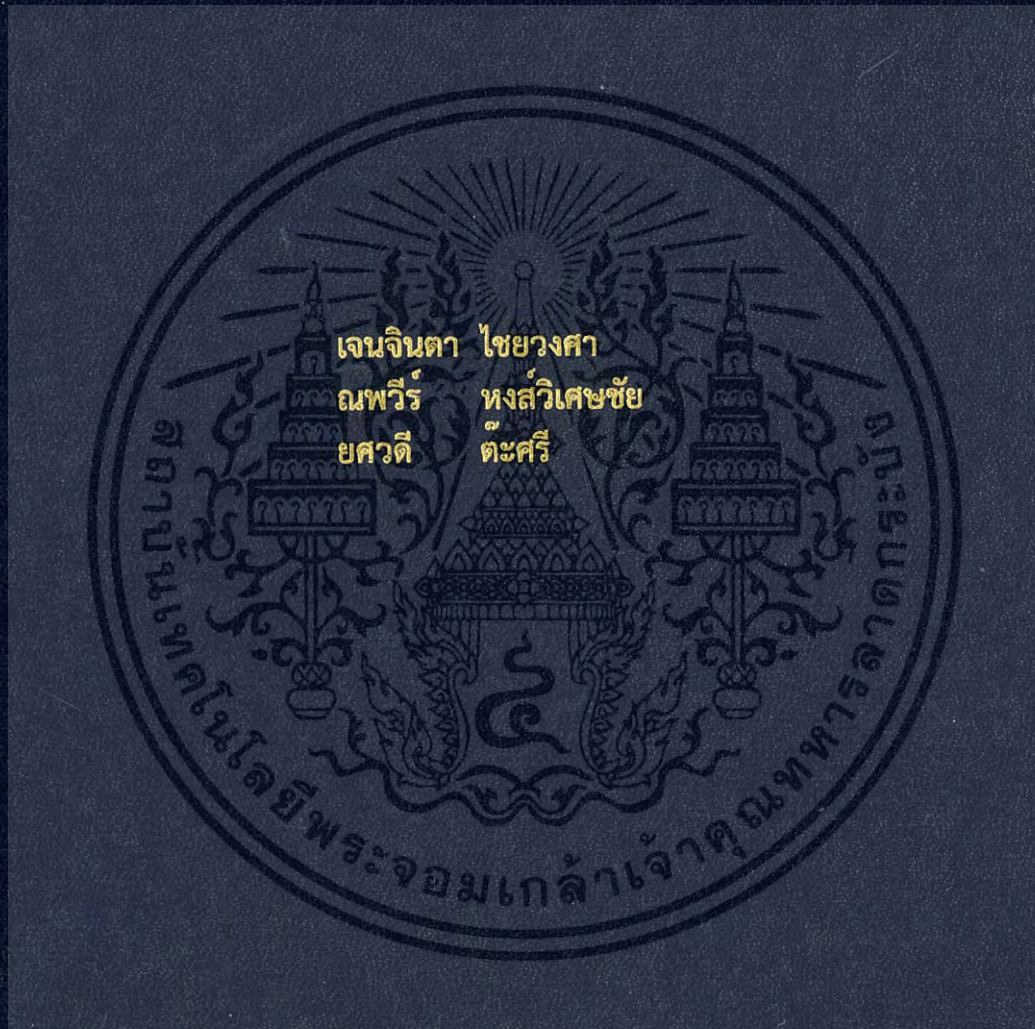


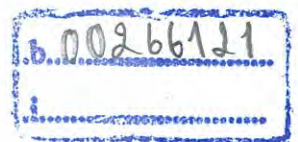
ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER



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

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

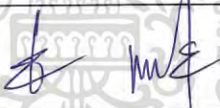
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ชุดทำความร้อนและความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER
นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวเจนจินดา ไชยวงศา รหัสนักศึกษา 57010220
นายณพวีร์ หงส์วิเศษชัย รหัสนักศึกษา 57010367
นางสาวยศวี ด๊ะศรี รหัสนักศึกษา 57011033
ปริญญ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชื้อ นกอยู่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ชุดทำความร้อนและความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวเจนจินดา ไชยวงศา	รหัสนักศึกษา	57010220
	นายณพวีร์ หงส์วิเศษชัย	รหัสนักศึกษา	57010367
	นางสาวยศวี ต๊ะศรี	รหัสนักศึกษา	57011033
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชื้อ นกอยู่		
ปีการศึกษา	2560		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาระบบทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทั่วไประบบทำความเย็นมีด้วยกันหลายแบบ เช่น ระบบทำความเย็นโดยการทำให้สารทำความเย็นระเหย หรือระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ทั้งนี้การนำระบบทำความเย็นรูปแบบต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความเหมาะสม แม้ระบบทำความเย็นทั่วไปจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ยังมีข้อเสียต่าง ๆ เช่น ขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อน การติดตั้ง เคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งจึงค่อนข้างซับซ้อนตามไปด้วย อาจส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูง ผู้จัดทำจึงศึกษาและทดลองระบบทำความเย็นโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แม้ประสิทธิภาพความเย็นจะไม่เทียบเท่ากับระบบทำความเย็นแบบอัดไอหรือสารระเหย แต่ก็มีข้อดีคือ ขนาดเล็ก ไม่เกิดเสียงรบกวน ไม่ซับซ้อนและไม่ใช้สารทำความเย็น ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งภายในเป็นสารกึ่งตัวนำสองชนิด โดยมีหลักการเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดความเย็นที่ผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านหนึ่งและอีกด้านจะร้อน ใช้ทดลองในการระบายความร้อนและกระจายความเย็นออกมาในรูปแบบลม สามารถควบคุมอุณหภูมิผ่านวงจรควบคุมได้ตามต้องการ โดยในกระบวนการใช้วิธีการสลับทิศทางของกระแสที่จ่ายเข้าไปเพื่อให้มีการสลับด้านความร้อนและความเย็นซึ่งเป็นการสลับโหมดทางไฟฟ้า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องเคลือบช็อกโกแลตขนาดเล็กที่ต้องใช้ลมเย็นในกระบวนการเคลือบและใช้ลมร้อนในการละลายช็อกโกแลต

Thesis Title	THERMOELECTRIC COOLER AND HEATER
Authors	Ms. Janejinta Chaiwongsa Mr. Nophavee Hongwisetchai Ms. Yodsawadee Tasri
Thesis Advisor	Asst. Prof. Chuea Nokyoo
Year	2017

ABSTRACT

This thesis develops and investigates the semiconductors based thermoelectric cooler. Although high performance cooling systems exist, the current developments incur several shortcomings including high costs and difficulty in relocation. The developed system is designed in such the way that as the underlying circuit conducts current, one side of the thermoelectric will experience temperature increments, whilst the other side experiences temperature decrements. A cooling fan is installed on one side of the thermoelectric, which is used as a temperature controller. The developed system is applied to mini-coating chocolate. Results show that the optimum ratio between the thermoelectric module to the Heatsink pair is 2:1.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยการประสิทธิ์วิชาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และให้คำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณโสภณ สมัยรัฐ และคุณสรายุทธ พุกท่าไม้ ที่เมตตาให้การสนับสนุน และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความอบอุ่นที่ดีต่อกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2.1 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
2.2.1.1 โครงสร้างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.2.1.2 หลักการทำงานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.2.1.3 การประยุกต์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.2.1.4 ข้อดีของระบบทำความเย็นด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	7
2.2.3 ฮีทซิงค์.....	8
2.2.3.1 ลักษณะของฮีทซิงค์	8
2.2.3.2 โครงสร้างของฮีทซิงค์	9
2.2.3.3 การกระจายความร้อนและวิธีการออกแบบฮีทซิงค์	10
2.2.4 การวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว	13
2.2.4.1 กฎอนุรักษ์มวลสำหรับกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว	14
2.2.4.2 กฎอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว	15
2.2.4.3 การไหลในท่อ	18
2.2.5 หลักการของวงจรทริกเกอร์สำหรับวงจรไฟรั้ง (Firing Control Circuit).....	18
2.2.6 อาดูโน้	20
2.2.7 เอสซีอาร์.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	22
2.2.9 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	24
3.1 อุปกรณ์	24
3.2 วิธีการดำเนินการ.....	27
3.2.1 หลักการคำนวณปัจจัยที่มีผลต่อระบบทำความเย็น	27
3.2.1.1 คำนวณหาค่าอุณหภูมิรอยต่อ (T_j) เพื่อทราบถึงอุณหภูมิพื้นผิว	27
ของฮีทซิงค์	
3.2.1.2 แนวทางการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด	28
3.2.1.3 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น	30
3.2.1.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น	30
3.2.1.5 การวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหล.....	30
แบบคงตัวและการทำความร้อนในท่อ	
3.2.2 การทดลองศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อน	31
เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อ	
ฮีทซิงค์จำนวน 1 คู่	
3.2.3 การทดลองศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อน	33
ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยควบคุมการจ่ายกระแสผ่านอาดูโน้	
3.2.4 ส่วนการควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับกระแสและแรงดัน	35
โดยใช้อาดูโน้ควบคุม	
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	37
4.1 การทดลองการศึกษาศักยภาพในการทำความเย็นและความร้อน	37
เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีทซิงค์ 1 คู่	
4.2 การทดลองเพื่อศึกษาศักยภาพในการทำความเย็นและความร้อน	39
ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วงเวลา 30 นาที ควบคุมการจ่ายกระแส	
ผ่านอาดูโน้	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	43
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	43
5.2 ปัญหาที่พบ.....	44
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา.....	44
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	45
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก.	47
ภาคผนวก ข.	51
ภาคผนวก ค.	53
ภาคผนวก ง.	55



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุ.....	12
4.1 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่ฮีทซิงค์ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 1 แผ่น 37 เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 7 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C	
4.2 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น 38 เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 14 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C	
4.3 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แผ่น 38 เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 21 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C	
4.4 ตารางผลการทดลองการศึกษาความสามารถของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 39 ในการทำความเย็น (ลมเย็น)	
4.5 ตารางผลการทดลองการศึกษาความสามารถของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 40 ในการทำความร้อน (ลมร้อน)	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
2.2 ส่วนประกอบของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.3 หลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	5
2.4 โหมดการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	6
2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของความร้อน	7
2.6 ตัวอย่างแผ่นระบายความร้อนหรือฮีทซิงค์.....	9
2.7 การกระจายความร้อนของฮีทซิงค์อลูมิเนียมขนาด 1/8 นิ้ว	9
2.8 ตัวอย่างฮีทซิงค์ทองแดงกับอลูมิเนียมชนิดอัลลอยด์หล่อขึ้นรูป	10
2.9 อลูมิเนียมอัดรีด (Finned extruded aluminum style)	10
2.10 เปรียบเทียบวงจรความร้อนเทียบเท่ากับกฎของเคอร์ชอฟวงจรไฟฟ้า.....	11
2.11 ขบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ปริมาตร มวลและพลังงานในระบบมีค่าคงที่.....	13
2.12 ขบวนการที่มีการไหลแบบคงตัวสมบัติต่าง ๆ ที่ขอบเขตระบบมีค่าคงที่.....	13
2.13 กฎอนุรักษ์มวลสำหรับระบบเปิดที่มีทางออก 1 ทางและมีทางเข้า 2 ทาง.....	14
2.14 ในระหว่างกระบวนการที่มีการไหลแบบสม่ำเสมออัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ทางเข้ากับ ที่ทางออกไม่จำเป็นต้องเท่ากัน	15
2.15 ระบบที่มีการไหลแบบคงตัว	16
2.16 ตัวอย่างการถ่ายโอนงานในระบบเปิดที่มีการไหลแบบคงตัว	17
2.17 ตัวอย่างการไหลในท่อ	18
2.18 Schematic Diagram Charger 14Vdc 30A	19
2.19 การเปรียบเทียบสัญญาณขอพู่กับสัญญาณอ้างอิง.....	20
2.20 แสดงพอร์ตต่างๆบนบอร์ดอาคูโน.....	21
2.21 สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์.....	22
2.22 โครงสร้างภายในของเอสซีอาร์	22
2.23 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	22
3.1 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	24
3.2 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของฮีทซิงค์อลูมิเนียม	24
3.3 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของกาวซิลิโคน.....	25
3.4 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	25
3.5 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของเทอร์โมมิเตอร์.....	25
3.6 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของแอนิเมเตอร์.....	26
3.7 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของเทอร์มินอลบล็อก.....	26
3.8 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของสวิชชิงพาวเวอร์ซัพพลาย	26
3.9 ท่อสแตนเลส	26
3.10 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงฉนวนหุ้มชนิด PID Duct.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงบอร์ดอาตูโนเมกกา 2560	27
3.12 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น SHT15	27
3.13 วงจรอนุกรม.....	29
3.14 วงจรขนาน.....	29
3.15 แผนภาพจากระบบชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	31
3.16 การวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกบนฮีทซิงค์.....	32
3.17 ชุดทดลองการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านข้าง).....	33
3.18 การวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกบนฮีทซิงค์ 2 คู่.....	33
3.19 ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านข้าง)	34
3.20 ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านหลัง)	34
3.21 รูปถ่ายจริงจากการทดลองการจ่ายกระแสด้วยตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน	34
ให้แก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	
3.22 แผนผังส่วนควบคุม.....	35
3.23 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน	35
3.24 แผนภาพแสดงการทำงานของอาตูโน	36
3.25 รูปถ่ายจริงของภาพรวมการทดลองชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก.....	36
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมเย็นกับเวลา.....	40
และปริมาณกระแสที่ให้กับระบบ	
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมร้อนกับเวลา	41
และปริมาณกระแสที่ให้กับระบบ	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ระบบทำความเย็นในปัจจุบันมีด้วยกันหลายประเภท เช่น ระบบทำความเย็นโดยการทำให้สารทำความเย็นระเหย หรือระบบทำความเย็นแบบอัดไอ การทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นรวมทั้งเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไปหรือในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีหลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดความเย็นคือการทำให้สารซึ่งเป็นตัวกลางในการทำความเย็นเปลี่ยนสถานะ (Refrigerant) เพราะขณะเปลี่ยนสถานะ สารทุกชนิดต้องการความร้อนแฝงเข้ามาช่วยเสมอ ทั้งนี้การนำระบบทำความเย็นรูปแบบต่างๆ ไปประยุกต์ใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความเหมาะสม แม้ระบบทำความเย็นทั่วไปจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ยังมีข้อเสียต่าง ๆ เช่น ขนาดใหญ่จึงมีข้อจำกัดเรื่องของพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้ง การเลือกสถานที่ที่มีความเหมาะสมของอุปกรณ์แต่ละตัว และมีความซับซ้อนซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งที่ค่อนข้างยาก อาจส่งผลถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและซ่อมบำรุง

จากข้อเสียดังกล่าวในตอนต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาระบบทำความเย็นและความร้อนโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) ซึ่งมีข้อดีคือ ขนาดเล็ก ไม่เกิดเสียงรบกวน ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่ายและไม่ใช้สารทำความเย็นซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ภายในเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) สองชนิด (P และ N) ที่มีค่าระดับพลังงานไม่เท่ากัน ใช้หลักการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งด้วยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เมื่อต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กระแสจะไหลผ่านจะทำให้แผ่นด้านหนึ่งเย็นและปลายอีกด้านจะร้อน ส่งผลให้ภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นมีการดูดซับความเย็นและคายความร้อนออกมา แม้จะมีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่ากับระบบทำความเย็นโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อดีอีกประการคือสามารถสลับการทำงานด้วยวิธีทางไฟฟ้าคือกลับทิศทางการไหลกระแสไฟฟ้าที่จ่าย ทำให้สามารถสลับด้านร้อนเย็นได้ โดยที่ไม่ต้องให้ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต้องเคลื่อนที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสื่อมทางกลไก จึงทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งระบายความร้อนด้านหนึ่งผ่านฮีตซิงค์และพัดลม เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นสามารถนำความเย็นและความร้อนที่เกิดขึ้นมาประยุกต์ใช้และควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนและลมเย็นโดยอาduino (Arduino) ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฮีตซิงค์ (Heat sink) โดยการคำนวณค่าการกระจายพลังงานได้ (Power dissipation)
3. เพื่อศึกษาการทำงานและเขียนโปรแกรมอาduinoควบคุมอุณหภูมิของลมในท่อของชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้
2. สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนและลมเย็นในท่อลมด้วยอาduinoได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริญญาพนธ์นี้เป็นการศึกษาและทดลอง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบทำความเย็นและความร้อนของเครื่องเคลือบซีอิกโกลด์ที่มีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการการบำรุงรักษา (Maintenance free)

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ศึกษาการถ่ายเทพลังงานความร้อนของฮีทซิงค์
3. ศึกษาการทำงานร่วมกันของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีทซิงค์ผ่านพัดลมระบายความร้อน
4. ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
2. สามารถออกแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฮีทซิงค์ โดยสามารถคำนวณค่าการกระจายพลังงานได้
3. สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนและลมเย็นภายในท่อลมผ่านอาดูโนได้
4. สามารถเข้าใจและประยุกต์ใช้วงจรควบคุมกระแสและแรงดันซึ่งควบคุมด้วยอาดูโนได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัย ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยศึกษาหลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) การระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์ การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยเอสซีอาร์ (SCR) ประสิทธิภาพในการทำความเย็น การวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัวในท่อลำเลียง รวมไปถึงการคำนวณและข้อมูลของส่วนควบคุมกระแสและแรงดัน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจริญพร เลิศสถิตธนกร และวิชา ศรีสุวรรณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้นำเสนอผลการทดสอบเพื่อหาศักยภาพในการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก มาทำความเย็นให้กับผ้าเปดานในการศึกษาได้ออกแบบสร้างและทดสอบระบบการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่อัตราการทำความเย็น 173 W ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีใช้อยู่ทั่วไป (แบบครีป) โดยด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดตั้งบนแผ่นผ้าเปดานอลูมิเนียมที่มีขนาด 0.25 m^2 โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (Tianjin Lantain model TEC-12708) จำนวน 16 โมดูล ทำความเย็นให้กับผ้าเปดานอลูมิเนียมที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของห้องทดสอบที่มีปริมาตร 0.125 m^3 การทดสอบสมรรถนะของระบบทำโดยการแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก จากการทดสอบพบว่าสามารถรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในช่วง $25-27^\circ\text{C}$ ให้ประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) เท่ากับ 0.65-1.22 [1]

สมัญญา เมฆนิติ คณะวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการศึกษาการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตความเย็นและความร้อนให้แก่ผนังอาคารและที่พักอาศัย เพื่อที่จะให้อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่ผู้ที่อยู่ในอาคารได้ ในส่วนของการทำความเย็นและทำความร้อนแก่ผนังอาคารรวมเป็นระบบเดียวกัน นเรียกว่าระบบกระตุ้นรอบอาคารหรือผนังอาคาร (Active building envelope) โดยในส่วนของทำความเย็นจะใช้พัดลมระบายความร้อนขนาดเล็กเป่าอากาศผ่านไปในท่อเหล็กที่มีน้ำ ซึ่งท่อนี้วางอยู่บนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นโดยพัดลมจะเป่าเอาอากาศเย็นเข้าไปในกรอบอาคารด้านในหรือผนังด้านใน สำหรับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะหันลงฮีตซิงค์และระบายความร้อนออกโดยใช้น้ำ ซึ่งน้ำตรงส่วนนี้ก็จะร้อนพอสมควรจึงสามารถนำน้ำที่ใช้ระบายความร้อนในส่วนนี้ ไปปล่อยไหลไปตามท่อสายยางที่ติดกับกรอบด้านนอกเพื่อให้ความร้อนแก่ผนังได้อีกด้วย จากผลการวิจัยจึงทำให้เห็นว่าระบบกระตุ้นรอบอาคารสามารถช่วยปรับสภาพอากาศของผู้ใช้ได้ และการปรับกระแสไฟฟ้าให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกก็เป็นส่วนช่วยในการปรับความเหมาะสมของอุณหภูมิภายในห้องได้ อีกทั้งอัตราส่วนจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อการระบายยังมีผลต่ออุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อนอีกด้วย [2]

นิกร จงจิตวิมล วรวิทย์ รัตนวงศ์ และวีระ ตีอดแก้ว คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษาระบบทำความเย็นด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้พาวเวอร์ซัพพลายแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงจ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านระบบควบคุมประกอบไปด้วยเซนเซอร์อุณหภูมิ วงจรควบคุมที่ใช้หลักการมอดูเลตความกว้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ทำหน้าที่ควบคุมตัดต่อแหล่งจ่ายไฟส่งไปยังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ตัวควบคุมนี้จะรับค่าอุณหภูมิมาจากตัวเซนเซอร์ แล้วทำการประมวลผลโดยทำงานเมื่ออุณหภูมิมีค่าตามที่ตั้งไว้และควบคุมการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ในการออกแบบชุดระบายความร้อนประกอบด้วยซิงค์อลูมิเนียมและพัดลมประสิทธิภาพสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ขนาดใหญ่ เนื่องจากการทำงานของเพลเทียร์จะขึ้นอยู่กับภาระระบายความร้อนเป็นสำคัญยิ่งการระบายความร้อนดีเท่าไร ความเย็นที่ได้ก็จะเพิ่มมากขึ้น [3]

กฤติน อุ่นทิ และสรายุทธ ทาหนองบัว คณะวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประดิษฐ์ระบบทำความเย็นระดับต่ำกว่า 0°C โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เพื่อทำการวิเคราะห์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดต่าง ๆ ซึ่งทางฝั่งด้านร้อนถูกวางไว้บนทองแดงที่มีอุณหภูมิ $1-2^{\circ}\text{C}$ และทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลตั้งแต่ $2-6\text{ V}$ อุณหภูมิที่ได้ทางฝั่งด้านร้อนและด้านเย็นถูกวัดและเก็บบันทึกข้อมูลด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทุก 30 sec ผลที่ได้แสดงถึงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล คือ ความต้านทานภายในและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำการศึกษาวิเคราะห์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 2 ชิ้นสำเร็จรูป แบบอนุกรม ต่อกัน 2 ชิ้นของโมดูล แยกจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่โมดูลแต่ละตัว สำหรับการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 2 ชิ้นแบบแยกจ่ายแรงดันไฟฟ้า จะให้อุณหภูมิทางด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำที่สุดแต่อุณหภูมิที่ได้ไม่เป็นไปตามอุดมคติ สุดท้ายมีการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 2 ชิ้นแบบสำเร็จรูปใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลอุณหภูมิมากกว่าการต่อแบบแยกจ่ายแรงดันไฟฟ้า [4]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

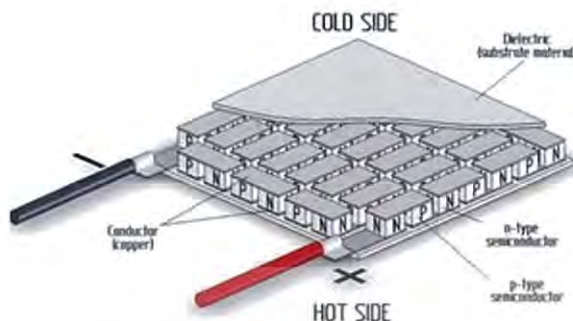
2.2.1.1 โครงสร้างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [7]

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกหรือเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล หรือที่รู้จักกันในชื่อแผ่นเพลเทียร์ (Peltier) มีโครงสร้างประกอบไปด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิด N และชนิด P ซ้อนเล็กมาต่อกันเป็นคู่ ๆ วางสลับกันและมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อทั้งแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมี

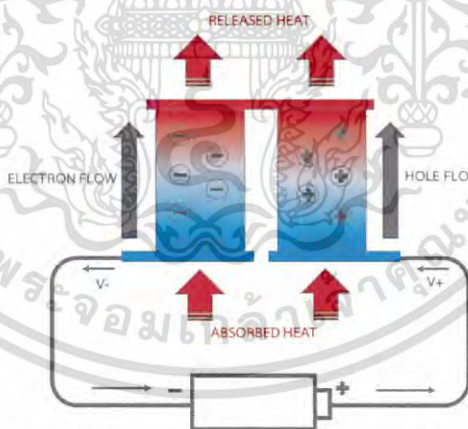
กระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ด้านบนและด้านล่างถูกประกอบด้วยแผ่นเซรามิก [5] แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [5]

2.2.1.2 หลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

เป็นระบบการดูดความร้อนแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) จากรูปที่ 2.3 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลตามเข็มนาฬิกา ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด N ความร้อนถูกดูดจากทางด้านล่างไปปล่อยออกทางด้านบนเป็นการส่งผ่านความร้อนโดยอิเล็กตรอน (Electron) อุณหภูมิที่ด้านล่างจะลดลงและทำหน้าที่ดูดความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ ความร้อนจะถูกพาไปโดยอิเล็กตรอนและปล่อยที่ด้านตรงข้าม ส่งผลให้จุดเชื่อมต่อหนึ่งจะเย็นอีกจุดหนึ่งจะร้อน ประสิทธิภาพการดูดความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าและจำนวนชั้นของ N และ P



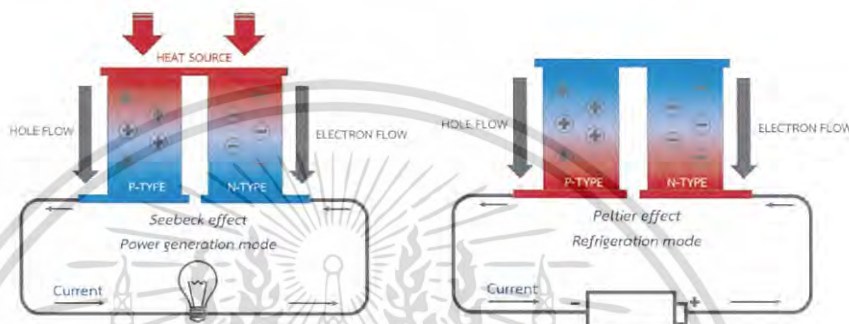
รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

โหมดการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรกเรียกว่า โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode) โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล เนื่องจากในสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอนหรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิด P มีพาหะข้างมากเป็นประจุบวก หรือโฮล (Hole) เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุบวกก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน [5]

ในทางกลับกัน การทำงานอีกโหมดหนึ่งจะเรียกว่า โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode) เมื่อปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปในแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จะก่อให้เกิดผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างจุดต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดนั้น ทำให้พื้นผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านหนึ่งจะร้อนและพื้นผิวด้านตรงกันข้ามจะเย็น และเมื่อสลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นทิศทางตรงกันข้ามกัน บริเวณพื้นผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นก็ทำงานสลับกัน คือจากด้านที่ร้อนเปลี่ยนเป็นเย็นและจากด้านที่เย็นเปลี่ยนเป็นร้อนแสดงดังรูปที่ 2.4 [6]



รูปที่ 2.4 โหมดการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

2.2.1.3 การประยุกต์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว เช่น โหมดการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านหนึ่งมาประกบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่าง ๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ทั้งไฟฟ้าและน้ำมัน (Hybrid) ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตาความร้อน หรือแม้แต่บนดาวเทียม ที่ผิวด้านหนึ่งของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสัมผัสอากาศที่เย็นกว่าก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งนี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ส่วนโหมดผลิตเย็นด้วยไฟฟ้า มีบริษัทผู้ผลิตตู้เย็นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่ต้องใช้สารทำความเย็น ไม่ต้องใช้คอมเพรสเซอร์แอร์ จึงสามารถเพิ่มพื้นที่บรรจุของในตู้เย็นเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเงียบไม่มีเสียงดัง ในงานการติดต่อสารพันธุกรรม DNA ก็มีการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิที่แน่นอนในการติดต่อได้อีกด้วย [5]

ในตอนนี้ ถ้าเทียบระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกับระบบทำความเย็นที่ใช้คอมเพรสเซอร์ ก็ถือว่าแผ่นทำความเย็นเพลเทียร์ยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่หลายเท่า ต่อให้นำแผ่นทำความเย็นเพลเทียร์หลายอันมาใช้ร่วมกัน แม้ค่าการทำความเย็นจะมีขนาดเท่าคอมเพรสเซอร์ แต่ก็ยังทำความเย็นได้ไม่ดีเท่าคอมเพรสเซอร์ รวมถึงอัตราการใช้พลังงานยังคงใช้พลังงานมากเมื่อเทียบกับงานที่ได้ออกมาซึ่งน้อยกว่ามาก [7]

2.2.1.4 ข้อดีของระบบทำความเย็นด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาทำให้ทราบว่า แม้ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจะต่ำกว่าระบบทำความเย็นทั่วไป แต่ด้วยข้อดีของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาต่อ ซึ่งสามารถดึงข้อดีเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) มีกระบวนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งง่ายที่สุดในการทำความร้อน มีเพียงแหล่งจ่ายไฟและแผ่นระบายความร้อนก็สามารถใช้งานได้
- 2) ไม่มีการปล่อยมลพิษที่เกิดจากสารทำความเย็นสู่สิ่งแวดล้อม
- 3) น้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กเหมาะแก่การทำตู้เย็นพกพา
- 4) ไม่มีเสียงและการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำงาน จึงไม่เกิดเสียงรบกวนและการสั่นหรือทางกลไก
- 5) ง่ายต่อการซ่อมแซมและลดค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา
- 6) มีการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับการทำความเย็นให้แก่ชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ
- 7) การติดตั้งและเคลื่อนย้ายสะดวกกว่าระบบทำความเย็นรูปแบบอื่นๆ
- 8) เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของคอมเพรสเซอร์ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้และต้นทุนต่ำ
- 9) สามารถสลับโหมดการทำงานระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นได้ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า (สลับทิศทางการกระแสไฟฟ้า)
- 10) มีอายุการใช้งานนาน เนื่องจากมีโอกาสน้อยที่จะเกิดการสึกหรอทางกลไกหากใช้งานอย่างถูกวิธี

2.2.2 การถ่ายเทความร้อน

การระบายความร้อนเป็นเรื่องสำคัญมาก สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก พลังงานไฟฟ้าที่จะได้จากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน ดังนั้นถ้าการระบายความร้อนไม่ดี อุณหภูมิทั้งสองข้างของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าใกล้เคียงกันจะส่งผลให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาคิดเป็นพลังงานได้น้อย และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับพลังงานความร้อนที่ใส่เข้าไป ในขณะเดียวกันหากระบายความร้อนได้ดี ด้านเย็นก็จะเย็นมากขึ้นเช่นกัน

ลักษณะการเคลื่อนที่ของความร้อนแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้เราสามารถมองภาพการทำงานของระบบการระบายความร้อนได้ง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เมื่อการแผ่พลังงานความร้อนไปกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ ส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อน ส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนไว้ และอีกส่วนหนึ่งถูกส่งผ่านวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ ประเภทของการพาความร้อนแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การพาความร้อนแบบอิสระ (Natural or Free Convection) ความร้อนจะเคลื่อนที่ของระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใด ๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง อีกแบบคือการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก

การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

ลักษณะทั้ง 3 รูปแบบนี้อาจเกิดขึ้นได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน โดยทั้งหมดนี้คือกลไกของการถ่ายเทความร้อนซึ่งเกี่ยวข้องกับการระบายความร้อน การระบายความร้อนที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1) การระบายความร้อนด้วยอากาศ (Passive) จะมีหลักการคืออุปกรณ์ที่เรียกว่าฮีทซิงค์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการช่วยถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดให้มีอุณหภูมิต่ำลงเป็นตัวกลางที่ทำหน้าที่ดึงความร้อนมาถ่ายเทให้กับอากาศรอบข้างเพื่อที่จะให้อุณหภูมิต่ำลง ในการระบายความร้อนด้วยอากาศจะพบว่ามีลักษณะการระบายความร้อนในลักษณะนี้มักเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายด้วยการใช้งานที่ง่าย ทั้งการติดตั้งและการบำรุงรักษา โดยประสิทธิภาพที่ออกมาขึ้นขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ออกแบบและเทคนิคเทคโนโลยีที่นำมาใช้ ส่วนหลักการระบายความร้อนด้วยอากาศใช้หลักการเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี ในบางครั้งก็อาจจะใช้เพียง 2 รูปแบบเท่านั้นคือ การนำความร้อนและการแผ่รังสี

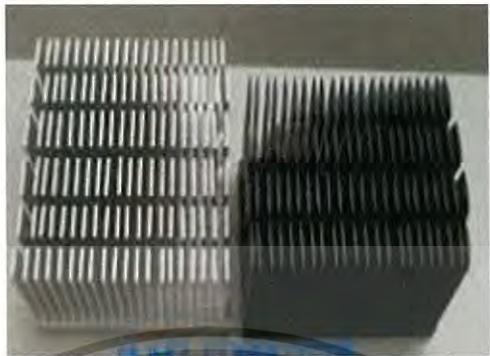
2) การระบายความร้อนด้วยของเหลว (Active) เป็นการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับการระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่เนื่องด้วยมีข้อจำกัดบางประการ ทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่เป็นการเปลี่ยนสารตัวกลางที่ทำหน้าที่นำพาความร้อนจากเดิมที่เป็นอากาศมาเป็นของเหลวแทน แต่ทางด้านของรูปทรงและองค์ประกอบทั้งหมดนั้นจะแตกต่างออกไปอย่างสิ้นเชิง จุดแตกต่างที่เห็นได้ชัดที่สุดคือระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวจะประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบที่ทำงานแยกออกเป็นส่วน ๆ อย่างอิสระ [9]

2.2.3 ฮีทซิงค์

2.2.3.1 ลักษณะของฮีทซิงค์

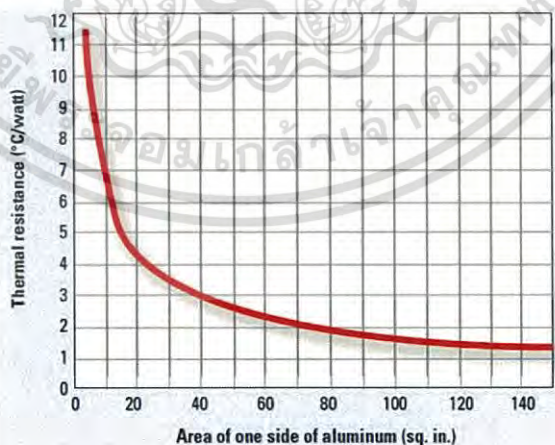
ฮีทซิงค์ หรือ แผ่นระบายความร้อน จะมีลักษณะเป็นครีป ดังแสดงดังรูปที่ 2.6 วัสดุที่นิยมนำมาทำฮีทซิงค์ในปัจจุบันมีอยู่ 3 รูปแบบคือ อลูมิเนียม, ทองแดง และทองแดงผสมอลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การนำความร้อนของฮีทซิงค์ควรสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทองแดงจะนำความร้อนได้ดีกว่าอลูมิเนียม โดยคุณสมบัติของอลูมิเนียมจะนำความร้อนได้ไม่ดีเท่าทองแดง แต่มีน้ำหนักเบาและมีราคาถูกกว่า จึงทำให้เป็นที่นิยมมากกว่าทองแดง แม้ทองแดงมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีกว่าอลูมิเนียม แต่ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ยุ้งยาก การประกอบครีปต้องใช้การเชื่อม มีน้ำหนักมากและราคาแพง จึงทำให้เป็นที่นิยมเฉพาะกลุ่มที่ต้องการการระบายความร้อนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวดเร็ว อีกทั้งผู้ใช้ควรคำนึงถึงวัสดุและขนาดของฮีทซิงค์เป็นอย่างแรกเพื่อสามารถเลือกฮีทซิงค์ที่เหมาะสมได้ ควรคำนึงถึงการกระจายความร้อนในอุปกรณ์อีกด้วย หากปริมาณการกระจายความร้อนในอุปกรณ์เพิ่มขึ้น ขนาดของฮีทซิงค์จะต้องเพิ่มขึ้นไปด้วยเพื่อให้พื้นที่ผิวสัมผัสบริเวณรอบ ๆ ได้ [10]



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแผ่นระบายความร้อนหรือฮีทซิงค์ [10]

นอกจากนี้ ฮีทซิงค์แต่ละชนิดจะมีค่าต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R_{th}) มีหน่วยเป็นอุณหภูมิต่อพลังงานวัตต์ ค่ายิ่งน้อยมากเท่าไรยิ่งระบายความร้อนได้ดีเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความสามารถของอลูมิเนียมที่จะนำความร้อนไปสู่บรรยากาศโดยรอบวัดได้ในหน่วยองศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($^{\circ}\text{C} / \text{W}$) จากรูปที่ 2.7 ชั้นแรกพิจารณาฮีทซิงค์อลูมิเนียมขนาด 1/8 in ความหนาที่มีพื้นที่ผิว 5 in^2 ต่อด้านวางในแนวตั้ง จากการวัดค่าความต้านทานความร้อน อยู่ที่ประมาณ $9 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$ ถ้าเพิ่มขึ้นเป็น 10 in^2 ความต้านทานความร้อน ลดลงมากยิ่งขึ้นจนกว่าจะถึงขีดจำกัดในทางปฏิบัติคือ 140 in^2 จุดนี้ความต้านทานความร้อนจะมีค่าประมาณ $1.4 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$ ในกรณีที่มีขนาดพื้นที่มากกว่า 140 in^2 จะถือว่าเป็นการระบายความร้อนที่ไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้น วัสดุที่ทำมาจากทองแดงวางแนวตั้งขนาด 1/8 in หนา 140 in^2 มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ $1.0 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$ เทียบกับอลูมิเนียมขนาดเท่ากันมีค่าความต้านทานความร้อนประมาณอยู่ที่ $1.4 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$ [11]



รูปที่ 2.7 การกระจายความร้อนของฮีทซิงค์อลูมิเนียมขนาด 1/8 in [11]

2.2.3.2 โครงสร้างของฮีทซิงค์

โครงสร้างส่วนใหญ่มักจะมีแกนกลาง ที่สัมผัสผิวหน้าทำจากทองแดง และ ครอบทำจากอลูมิเนียม ซึ่งผิวสัมผัสระหว่างทองแดงและอลูมิเนียม จะมีสารช่วยนำความร้อนอยู่เพื่อให้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

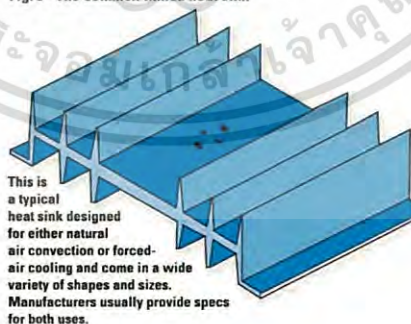
ผิวสัมผัสแนบสนิทและถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าแบบอลูมิเนียมทั้งชิ้น ราคาประหยัด และน้ำหนักเบากว่าแบบทองแดงทั้งชิ้น โลหะหล่อขึ้นรูปทั้งชิ้นนั้นข้อดีคือ ทำง่าย ราคาต้นทุนผลิตต่ำ ทำให้ได้ชิ้นงานจำนวนมาก แต่เนื้อโลหะค่อนข้างหนาและอมความร้อน การออกแบบให้มีคิลเล็ก บางและจำนวนมากค่อนข้างยาก ส่วนแบบอัดเป็นแผ่นนั้นทำง่าย แต่จะออกแบบให้โลหะมีครีบบางตามต้องการได้ สามารถนำโลหะสองชนิดมาประกบโดยอัดขึ้นรูปได้ แต่ข้อเสียคือ ยังเกิดช่องว่าง เนื่องจากไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน การอัดขึ้นรูปต้องพึ่งซิลิโคนทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานเพื่อนำความร้อน ซึ่งการระบายความร้อนอาจดีกว่าหรือแย่กว่าชนิดอัลลอยด์หล่อขึ้นรูปก็ได้ แสดงดังรูป 2.8 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการอัดขึ้นรูปและความสามารถในการนำความร้อนของตัวซิลิโคนอีกด้วย



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างฮีตซิงค์ทองแดงกับอลูมิเนียมชนิดอัลลอยด์หล่อขึ้นรูป [10]

เนื่องจาก ฮีตซิงค์ชนิดที่ใช้บ่อยที่สุดและจำหน่ายในท้องตลาดคืออลูมิเนียมอัดรีด (Finned extruded aluminum style) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยปกติแล้วจะมีสีดำแบนและมีพื้นที่เปลือยเปล่าสำหรับติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออาจจะเป็นสีดำสนิทก็ได้ สามารถเจาะเพื่อรองรับขาหรือการติดตั้งต่าง ๆ รูปร่างของส่วนที่ใช้ระบายความร้อนเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ส่วนนี้จะถูกระบายความร้อนด้วยการหมุนเวียนตามธรรมชาติ เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศโดยรอบมีพื้นที่ที่ค่อนข้างเล็ก จึงมีการใช้พื้นผิวหยักเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวที่ใช้ได้ต่อหน่วยปริมาตร นอกจากนี้ฮีตซิงค์บางส่วนยังมีรูปทรงเรขาคณิตอื่น ๆ สำหรับการใช้งานอื่น ๆ อีกด้วย สรุปได้ว่าฮีตซิงค์ที่มีครีระบายความร้อนจำนวนมาก ก็ย่อมสามารถนำความร้อนและระบายความร้อนได้เร็วและกระจายความร้อนได้ไวกว่าหรือมีประสิทธิภาพสูงกว่า [10]

Fig. 3– The common finned heat sink

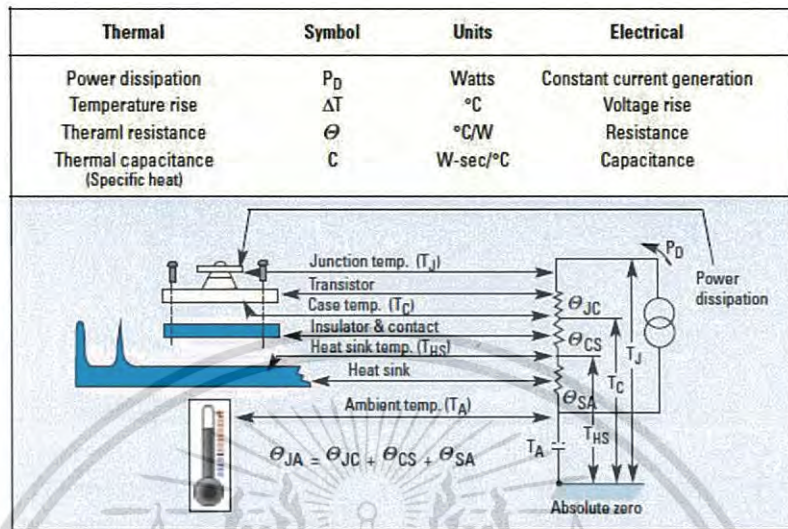


รูปที่ 2.9 อลูมิเนียมอัดรีด (Finned extruded aluminum style) [11]

2.2.3.3 การกระจายความร้อนและวิธีการออกแบบฮีตซิงค์

ประสิทธิภาพของการกระจายพลังงานความร้อน (Thermal Dissipation) คือ สิ่งสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่มีอุณหภูมิอยู่ในขีดจำกัดที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด เมื่ออุปกรณ์กำลังทำงานจะใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด สำหรับในกรณีสถานะคงที่ จะสามารถเปรียบเทียบวงจรความร้อนเทียบเท่ากับกฎของเคอร์ชอฟ (Kirchoff) ในวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบวงจรความร้อนเทียบเท่ากับกฎของเคอร์ชอฟในวงจรไฟฟ้า [11]

$$T_J = P_D(\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}) + T_A \quad (2.1)$$

กำหนดให้ $(\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA})$ คือ θ_{JA}

$$T_J = P_D(\theta_{JA}) + T_A \quad (2.2)$$

เมื่อ T_J = อุณหภูมิรอยต่อ (Junction temperature, $^{\circ}\text{C}$)

P_D = การกระจายพลังงาน (Power dissipation, W)

θ_{JC} = ความต้านทานความร้อนของรอยต่อ (Junction thermal resistance, $^{\circ}\text{C/W}$)

θ_{CS} = ความต้านทานความร้อนของฉนวน (Insulator thermal resistance, $^{\circ}\text{C/W}$)

θ_{SA} = ความต้านทานความร้อนของฮีทซิงค์ (Heatsink thermal resistance, $^{\circ}\text{C/W}$)

θ_{JA} = ความต้านทานความร้อนจากรอยต่อถึงสภาพแวดล้อม (Junction to ambient, $^{\circ}\text{C/W}$)

T_A = อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนมีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C/W}$ ยังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$\theta = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{\Delta T}{Q} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ L = ความกว้าง (Length, m)

k = ค่าคงที่การนำความร้อน (Thermal conductivity, W/(m°C) หรือ W/(mK))

A = พื้นที่หน้าตัดส่วนที่ความร้อนไหลผ่าน (Cross-section area, m²)

โดยค่าคงที่การนำความร้อน (Thermal conductivity) สามารถเลือกใช้ตามวัสดุที่ใช้ได้ตามตารางที่ 2.1 [12]

ตาราง 2.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุ

Material	Thermal Conductivity W/(mK)	Thermal Coefficient of Expansion ppm/ K	Density g/cm ³
Alumina, 96%	21	6.5	3.8
Alumina, 99.5%	37	6.8	3.9
Aluminum, 99.99+%	237	23	2.702
Aluminum, 1100H18	218	-	-
Aluminum, 6063 T6	201	-	-
Aluminum, 6061 T0	173	23.4	2.71
Aluminum, 6061 T6	156	23.6	2.72
Aluminum, 5052	139	-	-
Aluminum, 2024 and 7075	120-130	-	-

ตัวอย่างเช่น มีการคำนวณมาแล้วว่า Class A amplifier มีการกระจายพลังงาน (Power dissipation, W) 45 W กำหนดให้อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 50 °C มีอุปกรณ์เป็นทรานซิสเตอร์มีความต้านทานความร้อนของรอยต่อ (θ_{JC}) เป็น 0.8 °C/W ใช้ฉนวนเป็นซิลิโคนมีค่าความต้านทานความร้อน (θ_{CS}) 0.1 °C/W และฮีทซิงค์มีค่าความต้านทานความร้อนของฮีทซิงค์ (θ_{SA}) 1.8 °C/W ทำการแทนค่า จะได้ว่า T_J มีค่า 171.5 °C

จากการคำนวณผลการคำนวณที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสม เนื่องจากยังมีค่าอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดที่รับได้ (T_{JMAX}) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จำกัดความสามารถในการกระจายพลังงานของอุปกรณ์ T_{JMAX} ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตและขึ้นอยู่กับความนำเชื่อถือของแม่พิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตด้วย ในตัวอย่างนี้กำหนดค่า T_{JMAX} ที่ 98.6 °C เท่านั้น จากผลที่ได้จากการคำนวณจะเป็นอุณหภูมิของรอยต่อใหม่ ถ้าอุณหภูมิที่คำนวณได้มากกว่าอุณหภูมิที่รับได้สูงสุด ต้องเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการคำนวณ เช่น อุณหภูมิของบรรยากาศอาจลดลงหรือการกระจายพลังงานลดลงเนื่องมาจากการลดแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและความต้านทานความร้อนอาจจะลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

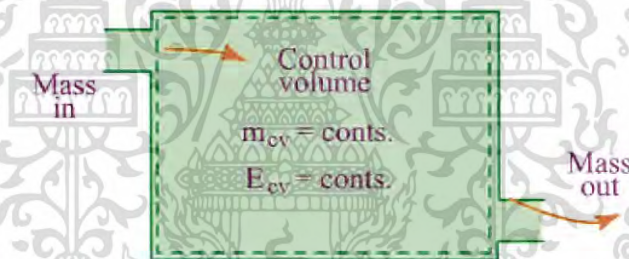
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดอุณหภูมิจาก 50 °C เป็น 30 °C ทำให้ T_j มีอุณหภูมิ 78 °C อุณหภูมินี้ทำให้เป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามหากจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิโดยรอบ 50 °C ให้ลดกำลังป้อนเข้าหรือเลือกทรานซิสเตอร์ที่แตกต่างจากเดิม (ที่ $T_j = 175$ ถึง 200 °C สูงสุด) หรือเปลี่ยนฮีทซิงค์ [11]

2.2.4 การวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว

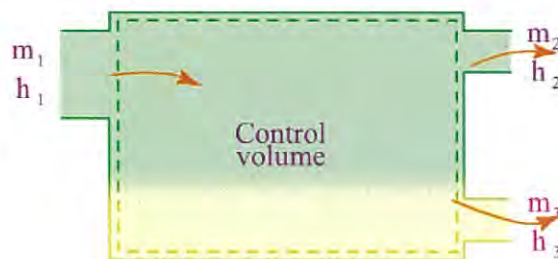
กระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว คือกระบวนการที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่มีการทำงานโดยมีสภาวะคงที่เป็นช่วงเวลายาวนาน เช่น กังหัน เครื่องอัด หัวฉีดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปัมเป้นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกจัดให้เป็นอุปกรณ์ที่มีการไหลแบบคงตัว (Steady-flow devices) เงื่อนไขของกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว มีดังนี้

สมบัติทุกอย่างในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา นั่นคือปริมาตร (V_{cv}) มวล (m_{cv}) และพลังงานในระบบ (E_{cv}) จะมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จากเงื่อนไขที่กล่าวมาทำให้สามารถระบุลักษณะของกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ได้ว่าปริมาตรภายในระบบคงที่ หมายความว่า งานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเขตของระบบ (boundary work, W_b) จะเท่ากับ ศูนย์ และมวลภายในระบบคงที่ หมายความว่า อัตราการไหลเข้าเชิงมวลเท่ากับอัตราการไหลออกเชิงมวล พลังงานของระบบคงที่ หมายความว่า พลังงานที่เข้าสู่ระบบเท่ากับพลังงานที่ออกจากระบบ



รูปที่ 2.11 ขบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ปริมาตร มวลและพลังงานในระบบมีค่าคงที่ [19]

สมบัติทุกอย่างที่ขอบเขตของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา นั่นคือสมบัติที่ขอบเขตระบบคือ จุดทางเข้าและทางออกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดกระบวนการ ซึ่งในที่นี้หมายความว่าสมบัติที่ทางเข้ากับทางออกจะแตกต่างกัน แต่สมบัติแต่ละจุดจะคงที่ตลอดกระบวนการ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.12 ขบวนการที่มีการไหลแบบคงตัวสมบัติต่าง ๆ ที่ขอบเขตระบบมีค่าคงที่ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนและงานที่เกิดจากการถ่ายโอนในระหว่างกระบวนการไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนและกำลังที่เกิด จากการถ่ายโอนผ่านขอบเขตของระบบจะมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ

2.2.4.1 กฎอนุรักษ์มวลสำหรับกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว จากกฎอนุรักษ์มวลสำหรับระบบเปิดในสมการ 2.4

$$\dot{m}_i - \dot{m}_e = \frac{dm_{cv}}{dt} \quad (2.4)$$

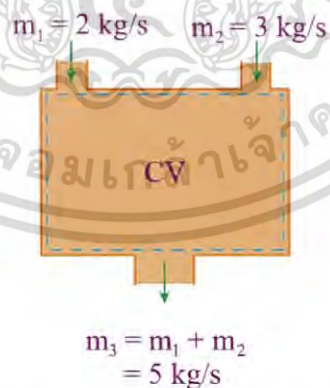
เมื่อพิจารณาเงื่อนไขสำหรับการบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ซึ่งมวลภายในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ($dm_{cv} = 0$) จะได้ดังสมการ 2.5

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e \quad (2.5)$$

สำหรับในกรณีที่ระบบมีทางเข้าหรือทางออกมากกว่า 1 ทาง (Multi-stream system) สมการของกฎอนุรักษ์มวล จะเป็นไปตามสมการ 2.6

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.5 และ 2.6 เป็นสมการการอนุรักษ์มวลสำหรับระบบเปิดการไหลแบบคงตัว ซึ่งสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าสมการความต่อเนื่อง สำหรับตัวอย่างระบบที่มีทางออก 1 ทางและมีทางเข้ามากกว่า 1 ทาง แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กฎอนุรักษ์มวลสำหรับระบบเปิดที่มีทางออก 1 ทางและมีทางเข้า 2 ทาง [19]

สำหรับ i และ e หมายถึงทางเข้าทางออกตามลำดับ มีอุปกรณ์จำนวนมากที่มีทางเข้าและทางออก อย่างละ 1 ทาง (Single-stream) เช่น กังหัน ปัม เครื่องอัด หัวฉีด เป็นต้น สำหรับกรณีสามารถกำหนดให้สภาวะทางเข้าเป็นสภาวะที่ 1 และให้สภาวะทางออกเป็นสภาวะที่ 2 ซึ่งเมื่อใช้เงื่อนไขดังกล่าวในสมการ 2.13 จะได้ดังสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e \quad (2.7)$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (2.8)$$

$$\frac{1}{v_1} V_1 A_1 = \frac{1}{v_2} V_2 A_2 \quad (2.9)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของสารทำงาน (kg/m^3)

v = ปริมาตรจำเพาะของสารทำงาน = $1/\rho$ (m^3/kg)

V = ความเร็วในการไหลของสารทำงาน (m/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของสารทำงานไหลผ่าน (m^2)

สิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจให้ถ่องแท้เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน คือ ความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) และอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) สำหรับอัตราการไหลเชิงมวลที่จุดทางเข้ากับจุดทางออกของอุปกรณ์ที่มีการไหลแบบคงตัวจะมีค่าเท่ากัน ส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ตัวอย่างเช่นระบบของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ทางออกน้อยกว่าที่ทางเข้าเสมอ ทั้งนี้เกิดจากผลที่อากาศซึ่งเป็นแก๊สหรือของไหลที่อัดตัวได้ ถูกอัดให้ปริมาตรลดลงในระหว่างเกิดกระบวนการในเครื่องอัดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 อย่างไรก็ตามในกรณีที่สารทำงานเป็นของเหลว ซึ่งจัดเป็นสารที่ไม่อัดตัวและหากอุปกรณ์มีพื้นที่หน้าตัดที่ทางเข้าและทางออกเท่ากัน จะพบว่าทั้งอัตราการไหลเชิงปริมาตรและอัตราการไหลเชิงมวลจะคงที่ตลอดกระบวนการ ตัวอย่างกระบวนการง่าย ๆ ของกรณีหลังนี้ได้แก่ การไหลของน้ำผ่านท่อ



รูปที่ 2.14 ในระหว่างกระบวนการที่มีการไหลแบบสม่ำเสมออัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ทางเข้ากับที่ทางออกไม่จำเป็นต้องเท่ากัน [19]

2.2.4.2 กฎอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบเปิดที่มีการไหลแบบคงตัว

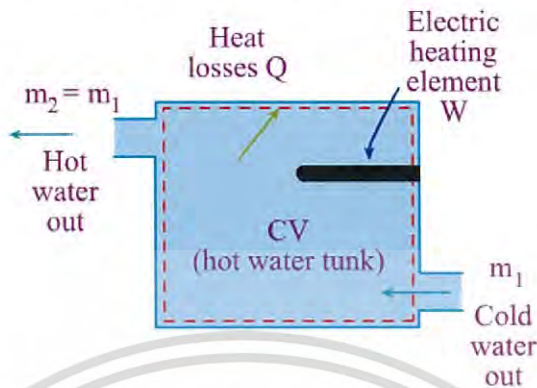
เนื่องจากกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว พลังงานในระบบมีค่าคงที่

($\frac{dE_{cv}}{dt} = 0$) จากสมการ 2.11 จะได้สมการอนุรักษ์พลังงาน ดังสมการ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e \right) = 0 \quad (2.10)$$

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่มีการไหลแบบคงตัว เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบที่มีการไหลแบบคงตัว [19]

สำหรับอุปกรณ์ที่มีทางเข้าและทางออกอย่างละ 1 ทาง มักจะมีการกำหนดให้สภาวะที่ทางเข้าและทางออกเป็นสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 ตามลำดับ และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีการไหลแบบคงตัว จะมีอัตราการไหลของสารทำงานที่ทางเข้าเท่ากับทางออก ดังนั้นสมการของอนุพันธ์พลังงานสำหรับอุปกรณ์ที่มีทางเข้าและทางออกอย่างละ 1 ทางจะเป็นดังสมการที่ 2.11

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) \right] \quad (2.11)$$

$$\text{หรือ} \quad Q - W = m(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe) \quad (2.12)$$

เมื่อใช้อัตราการไหลเชิงมวล หาค่าตลอดสมการที่ 2.12 จะได้กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ในรูปพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (kJ/kg) ดังสมการที่ 2.13

$$Q - W = (h_1 - h_2) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) \quad (2.13)$$

โดยการถ่ายโอนความร้อนผ่านขอบเขตของระบบและปริมาณงานที่กระทำต่อระบบจะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ

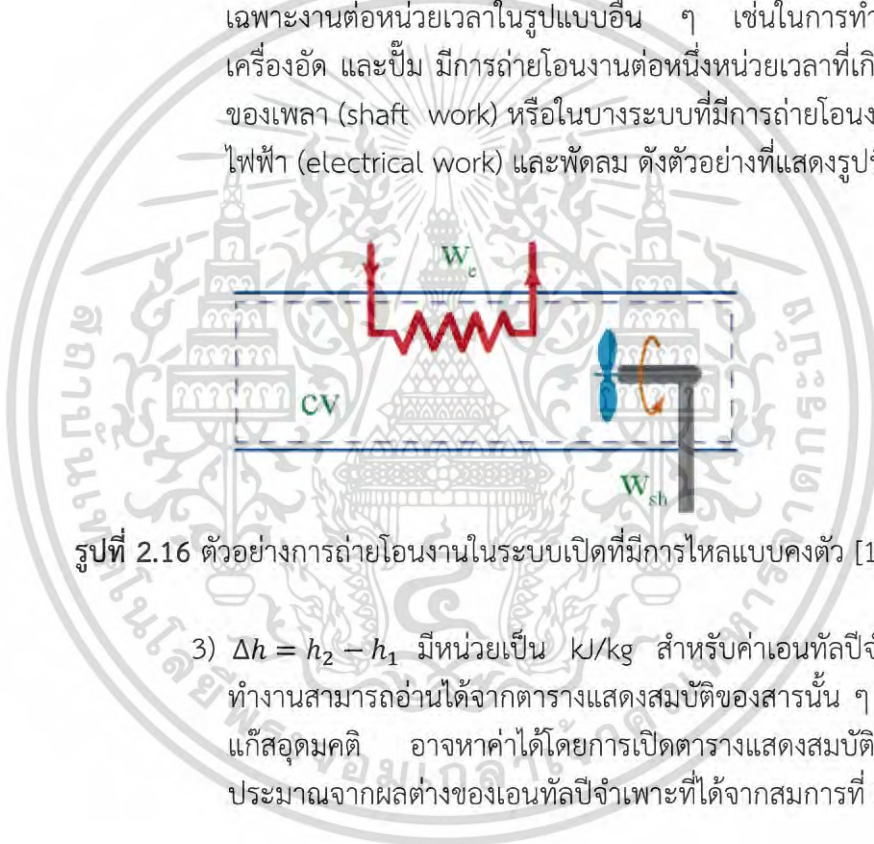
$$Q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad (2.14)$$

$$W = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักเกณฑ์การพิจารณาพลังงานแต่ละเทอมเป็นดังนี้

- 1) $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนผ่านขอบเขตของระบบ (kJ/s) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณนี้ในระบบเปิดใช้เงื่อนไขเหมือนกับการวิเคราะห์ในระบบปิด ระบบได้รับความร้อน $\dot{Q}$ จะมีเครื่องหมายเป็นบวก ระบบสูญเสียความร้อน $\dot{Q}$ จะมีเครื่องหมายเป็นลบ ระบบที่มีการหุ้มฉนวนจะมีการดำเนินกระบวนการแบบแอดิเอแบติก (adiabatic process) ซึ่งค่า $\dot{Q} = 0$
- 2) $\dot{W}$ คือ ปริมาณงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือกำลัง (kJ/s หรือ kW) สำหรับในระบบเปิดที่มีการไหลคงตัวปริมาตรของระบบจะคงที่ นั่นคืองานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของระบบเป็นศูนย์ ดังนั้นงานที่เกี่ยวข้องในระหว่างการเกิดกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว สำหรับระบบเปิด จะมีเฉพาะงานต่อหน่วยเวลาในรูปแบบอื่น ๆ เช่นในการทำงานของกังหัน เครื่องอัด และปั๊ม มีการถ่ายโอนงานต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่เกิดจากการหมุนของเพลลา (shaft work) หรือในบางระบบที่มีการถ่ายโอนงานผ่านขดลวดไฟฟ้า (electrical work) และพัดลม ดังตัวอย่างที่แสดงรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการถ่ายโอนงานในระบบเปิดที่มีการไหลแบบคงตัว [19]

- 3) $\Delta h = h_2 - h_1$ มีหน่วยเป็น kJ/kg สำหรับค่าเอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานสามารถอ่านได้จากตารางแสดงสมบัติของสารนั้น ๆ ส่วนสารที่เป็นแก๊สอุดมคติ อาจหาค่าได้โดยการเปิดตารางแสดงสมบัติ หรือหาค่าโดยประมาณจากผลต่างของเอนทัลปีจำเพาะที่ได้จากสมการที่ 2.16

$$\Delta h = c_{pQV}(T_e - T_i) \quad (2.16)$$

- 4) $\Delta ke = \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right)$ หน่วยของพลังงานจลน์คือ m^2/s^2 ซึ่งเทียบเท่ากับ J/Kg แต่เมื่อคำนวณร่วมกับเอนทัลปีจะต้องเปลี่ยนหน่วยให้เหมือนกับหน่วยของเอนทัลปี คือ KJ/Kg จากข้อมูลพบว่า $45 \text{ m}^2/\text{s}^2$ คิดเป็นพลังงานจลน์เพียง 1 KJ/Kg ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับเอนทัลปี จึงสามารถถือว่าความเร็วที่จุดดังกล่าวเป็นศูนย์ได้ หรือถ้าสารทำงานไหลเข้าหรือออกจากระบบด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันมาก ก็สามารถถือว่าผลต่างของพลังงานจลน์เป็นศูนย์ได้ มีข้อควรระวังคือที่ความเร็วสูงการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

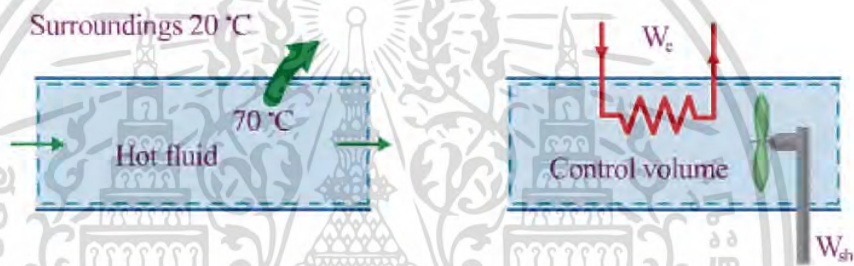
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงเล็กน้อยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับความเร็วต่ำ

- 5) $\Delta pe = g(z_2 - z_1)$ พลังงานศักย์มีหน่วยเหมือนพลังงานจลน์ โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ขนาด 1 KJ/Kg เกิดความสูงแตกต่างถึง 102 m. ดังนั้นในกรณีทั่วไป อุปกรณ์เหล่านี้จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ ยกเว้นการบีบของไหลขึ้นสู่ระดับที่สูง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก

2.2.4.3 การไหลในท่อ

การไหลของของไหล และแก๊สภายในท่อสามารถพบได้ทั่วไปในงานทางด้านวิศวกรรมและเครื่องใช้ทั่วไป เช่น น้ำไหลผ่านท่อภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในโรงจักรกำลัง (Power plant) อากาศไหลผ่านขดลวดไฟฟ้าในระบบทำความร้อนหรือในเครื่องเป่าลม ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการไหลในท่อ [19]

การไหลในท่อโดยทั่วไปขนาดของท่อจะคงที่ และระดับของท่อจะต่างกันน้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ พลังงานศักย์จะน้อยมาก ($\Delta ke \approx 0$, $\Delta pe \approx 0$) จึงไม่มีการพิจารณาผลจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งสองรูป [13]

นอกจากนี้ สำหรับการหาปริมาตรจำเพาะของอากาศ เราสามารถพิจารณาให้อากาศเป็นแก๊สในอุดมคติ พิจารณาได้จากสมการแก๊สอุดมคติดังสมการที่ 2.17

$$PV = nRT \quad (2.17)$$

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ

v = ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

R = ค่าคงที่ของแก๊ส

T = อุณหภูมิ หน่วยเคลวิน (K)

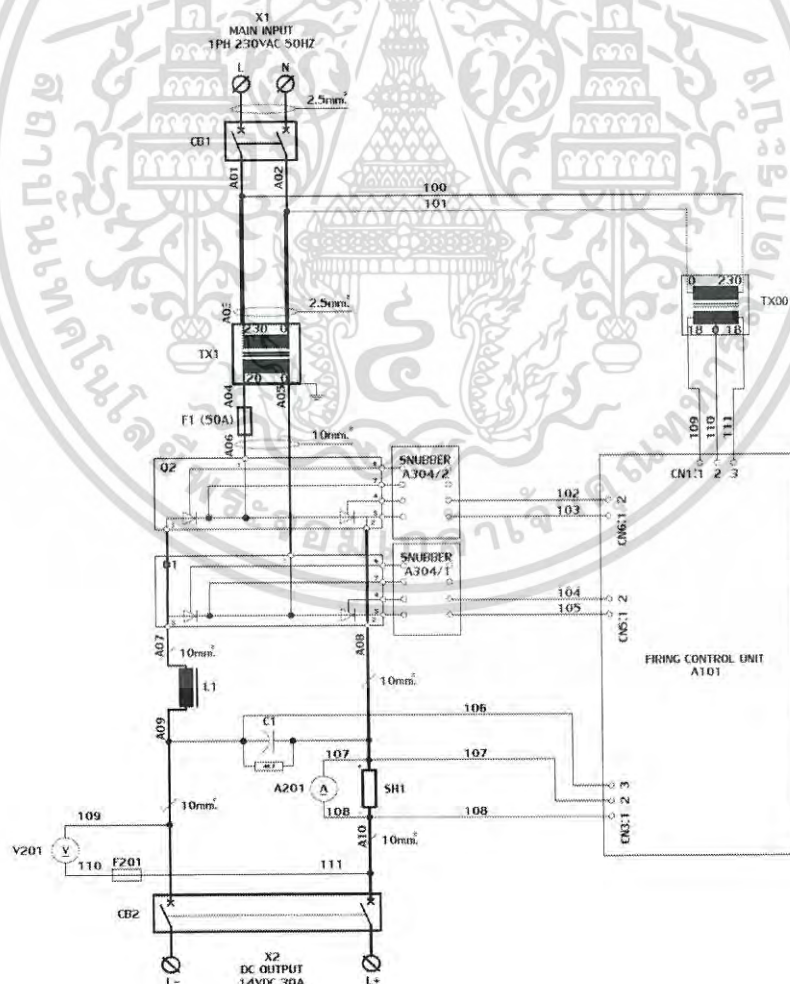
2.2.5 หลักการของวงจรทรานซิสเตอร์สำหรับวงจรไฟรั้ง (Firing Control Circuit)

องค์ประกอบภายในของตู้ควบคุมกระแสและแรงดันประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) และส่วนการจุดชนวนดังแสดงในรูป 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกคือพาวเวอร์ซัพพลายเป็นส่วนที่ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับส่วนอื่น เมื่อไฟกระแสสลับขาเข้า (AC Input) ของพาวเวอร์ซัพพลายนั่นเป็นพลังงานไฟฟ้ามาจากปลั๊กไฟมีขนาดแรงดัน 220 V ความถี่ 50 Hz พาวเวอร์ซัพพลายจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น ฟิวส์ที่เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการป้องกันวงจรทั้งหมดจากกระแสไฟแรงสูงที่เกิดขึ้น จากการถูกฟ้าผ่าหรือไฟแรงสูงรูปแบบอื่น ๆ ส่งต่อไปยังวงจรกรองแรงดัน ซึ่งจะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาเพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติเช่น ไฟกระชากซึ่งอาจส่งผลต่อวงจรพาวเวอร์ซัพพลายทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ เมื่อผ่านวงจรกรองแรงดันมาแล้วจะเข้าสู่ส่วนของวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เป็นส่วนที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะผ่านเข้าไปที่หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ในแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้เป็นระดับแรงดันที่ต่ำลงมาเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้

ส่วนการจุดชนวนเราสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลต์ได้ โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากเอาต์พุตที่ขาเกทอุปกรณ์เอสซีอาร์เพื่อจุดชนวนเอสซีอาร์ให้นำกระแส โดยแรงดันไฟฟ้าจากอะนูนนั้นจะจ่ายที่ระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-5 V เป็นการกำหนดค่าของไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังโหลต์ 0-30 A 14 V (หรือจากขาแอโนดไปยังขาแคโทดของเอสซีอาร์) โดยเอสซีอาร์นี้เปรียบเสมือนสวิตช์เปิดปิดวงจรแสดงข้อมูลโดยละเอียดในหัวข้อ 2.2.7

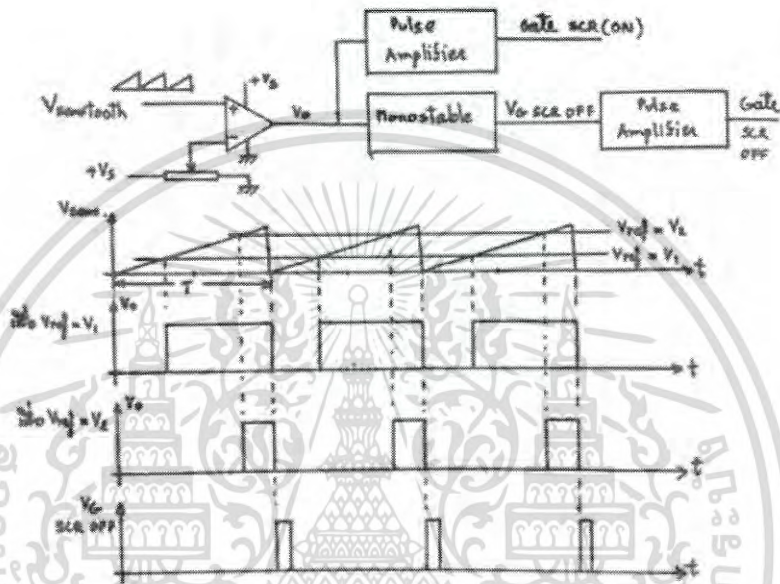


รูปที่ 2.18 Schematic Diagram Charger 14Vdc 30A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวงจรทริกเกอร์สำหรับวงจรไฟรั้ง มีหลักการคือวงจรทริกเกอร์สำหรับวงจรจุดชนวน หลักการคล้ายกับวงจรหรี่ไฟ (Dimmer) ที่เป็นการใช้งานโดยอาศัยการกระตุ้นที่ตำแหน่งที่เฟสคงที่ ของสัญญาณไฟสลับ มีหลักการคือสร้างสัญญาณซอว์ทูธ (Sawtooth) จำเข้าวงจรเปรียบเทียบ สัญญาณ (Comparator) กับสัญญาณอ้างอิง ดังรูป 2.19

สัญญาณ V_{out} นำไปทริกเอสซีอาร์ที่จะทำให้เกิดสภาวะ T_{ON} และนำสัญญาณ V_G SCR OFF ซึ่งได้จากวงจร monostable ไปทริกเอสซีอาร์ที่จะทำให้เกิดสภาวะ T_{OFF} จะเห็นว่าสามารถ เปลี่ยนแปลง T_{ON} และ T_{OFF} โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{REF} [22]



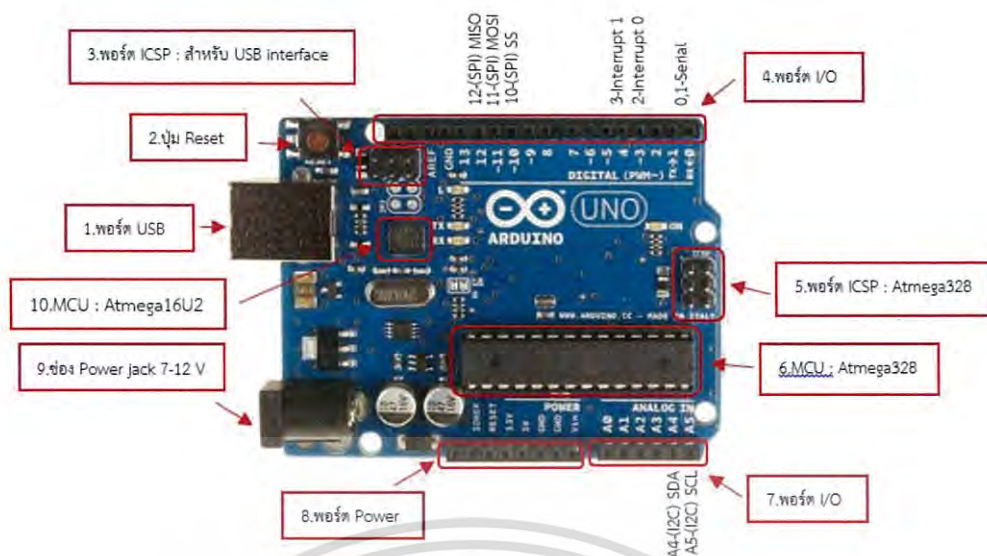
รูปที่ 2.19 การเปรียบเทียบสัญญาณซอว์ทูธกับสัญญาณอ้างอิง [22]

2.2.6 อาดูโน

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR กล่าวคือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอก เข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่ อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่น ๆ ส่วนอาดูโนจะพัฒนามาแบบ Open Source ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจาก สามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้านและมีการใช้งานที่ง่าย สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก ภายนอกแล้วเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดูโนได้

การใช้งานอาดูโนจะใช้ภาษาซีที่เป็นลักษณะเฉพาะ มีการเขียนไลบรารีของอาดูโนเพื่อให้ สามารถสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน โครงการได้ออกแบบบอร์ดทดลองมาหลากหลาย รูปแบบเพื่อการใช้งานร่วมกับ โปรแกรม Arduino IDE ของโครงการ ซึ่งซอฟต์แวร์สามารถดาวน์โหลด ได้ไม่เสียค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังมีราคาถูกมาก ทำให้เป็นที่นิยมสำหรับผู้เริ่มต้น นักประดิษฐ์และนัก ออกแบบ ตัวอย่างประยุกต์การใช้งาน เช่น เครื่องมือวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ ฟันยนต์ อุปกรณ์วัด ความเร่งรยยนต์ การเชื่อมต่อใช้งานแบบสมาร์ทโฮม (Smart home) เป็นต้น

สำหรับตัวบอร์ดจะมีพอร์ตต่าง ๆ สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก โดยบอร์ดแต่ละ ประเภทก็จะมีพอร์ตที่คล้ายกัน ยกตัวอย่างโมเดล Arduino UNO R3 แสดงพอร์ตต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงพอร์ตต่าง ๆ บนบอร์ดอาดูโน [16]

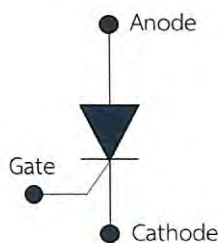
โดยพอร์ต USB จะใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมที่เขียนเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด นอกเหนือจากนี้ยังมีพอร์ต I/O เป็นพอร์ต Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 พอร์ตรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0 ถึง A5 และมีไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND และ V_{in} [16]

2.2.7 เอสซีอาร์

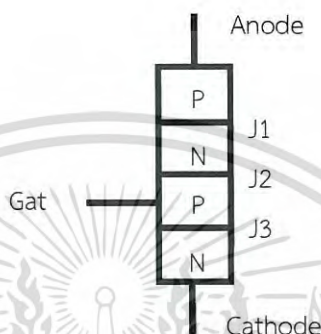
เอสซีอาร์ (SCR หรือ Silicon Control Rectifier) เป็นอุปกรณ์ของโซลิดสเตตที่มีโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำต่อชนกัน ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในงานอุตสาหกรรมมักจะได้นิยมนำชื่อ SCR Power Controller หรือ SCR Power Regulator มีหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับงานเกี่ยวกับฮีตเตอร์ที่ต้องใช้กระแสสูงหรือกระบวนการเตาหลอมที่ใช้ความร้อนสูง การควบคุมอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งข้อดีของอุปกรณ์นี้คือไม่มีการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสเพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจึงทำให้ไม่เกิดประกายไฟที่หน้าสัมผัส ส่งผลให้มีความปลอดภัยสูง

โครงสร้างของเอสซีอาร์เป็นสารกึ่งตัวนำจำพวกไตรสเตอร์ มีโครงสร้างภายในประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ต่อชนกันทั้งหมด 4 ชั้น แสดงดังรูปที่ 2.22 จะเห็นว่าชนิด P 2 ชั้น และ ชนิด N 2 ชั้น โดยเรียงสลับกัน มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา ได้แก่ขาแอโนด (Anode) ขาแคโทด (Cathode) และ ขาเกต (Gate) เนื่องจากการทำงานคล้ายกับสวิตช์ไฟทำให้มีสองสถานะการทำงานคือ สถานะนำกระแส เรียกว่า ON และ สถานะหยุดนำกระแสเรียกว่า OFF เมื่อมีแรงดันตกคร่อมระหว่างทั้งสองขั้ว โดยขั้วแอโนดเป็นบวกและแคโทดเป็นลบ รอยต่อ J1 และ J3 จะถูกไบแอสตาม ส่วน J2 จะถูกไบแอสย้อนกลับ ถ้าแรงดันที่ตกคร่อมเอสซีอาร์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะถึงแรงดันค่าหนึ่ง ที่เรียกว่า แรงดันพังทะลุ (Breakover voltage) ที่รอยต่อ J2 จะเกิด Breakover ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านจากขั้วแอโนดมาที่แคโทด การทำงานในช่วงนี้จะเป็นเหมือนสวิตช์ปิดหรือสถานะหยุดนำกระแส หากจะให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะนำกระแสให้ป้อนกระแสเข้าที่ขาเกต [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์



รูปที่ 2.22 โครงสร้างภายในของเอสซีอาร์

2.2.8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

เป็นเซนเซอร์ตระกูล Sensirion ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อาชีพอุตสาหกรรม มีการตอบสนองที่รวดเร็วและไม่ไวต่อสัญญาณรบกวนภายนอก ในตระกูล Sensirion จะผลิตออกมาในรุ่น SHT1x (รวมทั้ง SHT10, SHT11 และ SHT15) ใช้พลังงานต่ำ มีความเสถียรภาพและขนาดเล็กจึงเป็นที่นิยม ประกอบด้วยขา SCL และ SDA รวมไปถึงขาจ่ายแรงดัน 5 V และขา GND [18]



รูปที่ 2.23 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น [18]

2.2.9 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

Energy Efficiency Ratio (EER) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำความเย็น คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศว่าดีหรือไม่ มีหน่วยเป็น Btu/hr/W ซึ่งกล่าวได้ว่า ค่า EER นั้นคืออัตราส่วนของความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้จริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศนั้นต้องใช้ในการทำความเย็น (Input) เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER ยิ่งสูงก็แสดงว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้น [20]

$$EER = \frac{\text{ปริมาณของความเย็นที่เครื่องสามารถทำได้จริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความเย็น}} \quad (2.18)$$

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น โดยปกติประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance หรือ COP) ดังสมการ 2.19 ค่า COP และค่า EER นั้นคือค่าเดียวกัน แต่การผลิตเครื่องปรับอากาศไปจำหน่ายต่างประเทศนั้นจะไม่ใช้ค่า EER ฉะนั้นค่า EER จะกำหนดใช้เฉพาะในประเทศเท่านั้น [21]

$$COP = \frac{EER}{3.412} \quad (2.19)$$



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ ซึ่งประกอบด้วยหลักการคำนวณปัจจัยที่มีผลต่อระบบทำความเย็น การทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีทซิงค์ และส่วนการควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับกระแสและแรงดัน จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้Arduinoควบคุม

3.1 อุปกรณ์

- 1) แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEC1-12715 ขนาด $40 \times 40 \times 3.8$ mm แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.1 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

- 2) ฮีทซิงค์อลูมิเนียมพร้อมพัดลม ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ฮีทซิงค์รุ่น HP-02-F-B ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ทำมาจากโลหะที่นำความร้อนเช่น อลูมิเนียมหรือทองแดง ฮีทซิงค์จะใช้วิธีการพาความร้อนจากตัวอุปกรณ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยเพิ่มพื้นที่สัมผัสอากาศ ดังรูปที่ 3.2 โดยคุณสมบัติของฮีทซิงค์แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.2 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของฮีทซิงค์อลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) กาวซิลิโคน เป็นของเหลวชนิดหนึ่ง ใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังฮีทซิงค์ โดยทาที่นั้ระหว่างกลาง ในงานวิจัยนี้เราใช้กาวซิลิโคนสีทอง รุ่น HY610 แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของกาวซิลิโคน

- 4) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่วัดค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น กระแส แรงดัน ค่าความต้านทาน โดยในงานวิจัยนี้ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น XL830L แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

- 5) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิซึ่งเป็นแบบแอลกอฮอล์บรรจุในแท่งแก้ว มีคุณสมบัติมองเห็นสเกลได้ง่ายกว่าแบบปรอท แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของเทอร์โมมิเตอร์

- 6) แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความเร็วลม แสดงดังรูปที่ 3.6 มีหัววัดหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น แบบ Vane probe, Cub, Thermal probe, Hot wire และ Pitot tube หรือแบบ Multifunction คือสามารถต่อกับหัววัดหลายแบบ และยังสามารถต่อกับหัวโพรบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิ, ความชื้น, ปริมาตรการไหล, คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ความดันและความเข้มแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



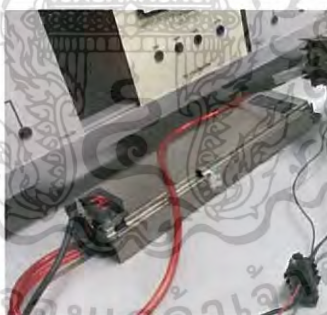
รูปที่ 3.6 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของแอนิเมเตอร์

- 7) เทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างสายไฟด้านหนึ่งเข้ากับอีกด้านหนึ่ง หรือใช้เป็นจุดพักสายไฟ เพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือเพื่อเก็บสายไฟให้เป็นระเบียบ สามารถตรวจสอบจุดที่มีปัญหาอื่นๆได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 3.7



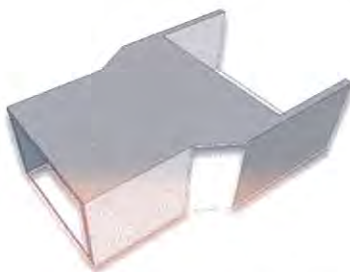
รูปที่ 3.7 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของเทอร์มินอลบล็อก

- 8) สวิตชิงพาวเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของสวิตชิงพาวเวอร์ซัพพลาย

- 9) ท่อสแตนเลส ในงานวิจัยนี้จะใช้ท่อสแตนเลสมีลักษณะดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ท่อสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10) ฉนวนหุ้มชนิด PID Duct (Pre-Insulation Duct) หรือโฟมโพลีเอทิลีน



รูปที่ 3.10 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของฉนวนหุ้มชนิด PID Duct

- 11) บอร์ดอาดูโนเมกกา 2560 (Arduino Mega 2560)



รูปที่ 3.11 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของบอร์ดอาดูโนเมกกา 2560

- 12) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Sensor SHT15)



รูปที่ 3.12 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น SHT15

3.2 วิธีการดำเนินการ

ในการทดลองจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การออกแบบชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและการควบคุมอุณหภูมิด้วยวงจรควบคุมกระแสและแรงดัน ดังนี้

3.2.1 หลักการคำนวณปัจจัยที่มีผลต่อระบบทำความเย็น

3.2.1.1 คำนวณหาอุณหภูมิรอยต่อ (T_j) และอุณหภูมิพื้นผิวของฮีทซิงค์

ในการทดลองต้องการทราบอุณหภูมิรอยต่อ (T_j) สามารถหาได้จากสมการ 2.1 โดยค่าการกระจายความร้อนจะมีค่า 80 วัตต์ ดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการทำความร้อนที่ปลายขั้วด้านเย็น (Q_c) และกระแส (I) ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจะต้องหาค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งหาได้จากสมการ 2.3 วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมได้ 25°C มีอุปกรณ์เป็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งมีความต้านทานความร้อน (θ_{JC}) โดยความกว้างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (L) คือ 0.04 m ค่าคงที่การนำความร้อนของเซรามิก (k) คือ 15 W/(mK) และ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่ความร้อนไหลผ่าน (A) = 0.016 m^2 ดังนั้น ความต้านทานความร้อน (θ_{JC}) จะได้ 0.17°C/W ขณะที่ความต้านทานความร้อนของกาวซิลิโคน (θ_{CS}) มีค่าเป็น 0.073°C/W ซึ่งเป็นข้อมูลจากผู้ผลิตและในส่วนของการคำนวณความต้านทานความร้อนของฮีตซิงค์มีค่าที่คำนวณได้เช่นเดียวกับสมการ 2.3 โดยที่ความยาวของฮีตซิงค์หรือฮีตซิงค์มีค่า 0.12 เมตร ค่าคงที่การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำฮีตซิงค์ อ้างอิงได้จากตาราง 2.1 โดยค่าคงที่การนำความร้อนของอลูมิเนียมมีค่า $37\text{ W/(m}^{\circ}\text{C)}$ และพื้นที่หน้าตัดของฮีตซิงค์มีขนาด 0.0132 m^2 สามารถคำนวณความต้านทานความร้อน (θ_{SA}) ได้ 0.24°C/W

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราสามารถหาค่าความต้านทานความร้อนของทั้งสามตัว สามารถนำมาหาค่าความต้านทานความร้อนของรอยต่อถึงสภาพแวดล้อม (θ_{JA}) โดยที่ค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (θ_{JC}) มีค่า 0.17°C/W ค่าความต้านทานของซิลิโคน (θ_{CS}) มีค่า 0.073°C/W และค่าความต้านทานความร้อนของฮีตซิงค์ (θ_{SA}) มีค่า 0.038°C/W จะได้ค่าความต้านทานความร้อนของรอยต่อถึงสภาพแวดล้อมเท่ากับ 0.483°C/W

เมื่อได้ค่าความต้านทานความร้อนรอยต่อถึงสภาพแวดล้อม (θ_{JA}) แล้วสามารถหาค่าอุณหภูมิรอยต่อของทั้งวงจรได้โดยคำนวณจากสมการ 2.1 แทนค่าจะได้ 64.64°C

เนื่องจากยังมีค่าอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดที่รับได้ (T_{JMAX}) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญจำกัดความสามารถในการกระจายพลังงานของอุปกรณ์ T_{JMAX} ในที่นี้มีค่า 138°C อุณหภูมิที่คำนวณได้มากกว่าอุณหภูมิที่รับได้สูงสุด ต้องเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการคำนวณ เช่น อุณหภูมิของบรรยากาศ อาจลดลง หรือการกระจายพลังงานลดลงเนื่องมาจากการลดแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และความต้านทานความร้อนอาจจะลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

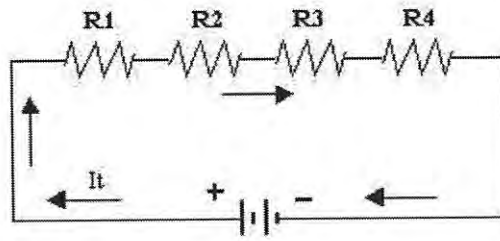
อย่างไรก็ตามหากจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิโดยรอบ 25°C ให้ลดกำลังป้อนเข้าหรือเลือกแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่แตกต่างจากเดิมหรือเปลี่ยนฮีตซิงค์

จากกฎของเคอร์ชอฟสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิของฮีตซิงค์ได้เช่นเดียวกันกับสมการ 2.2 โดยใช้ความต้านทานความร้อนของฮีตซิงค์ (θ_{SA}) 0.24°C/W จะได้อุณหภูมิพื้นผิวฮีตซิงค์คือ 45.2°C

3.2.1.2 แนวทางการใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในการนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมาจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยใช้กฎของเพลเทียร์ เพื่อให้เกิดความร้อนและความเย็นแต่ละด้าน ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสจากแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ถ้าหากเราใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพียงตัวเดียวจะไม่มีปัญหาเรื่องการกินกระแสเพราะไม่ต้องคำนึงถึงการต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบต่าง ๆ แต่ถ้าหากเราใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไปจะต้องคำนึงถึงหลักการต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบวงจร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน โดยเราเริ่มพิจารณาจากการต่อแบบวงจรอนุกรม ในการต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบอนุกรมนี้เราจะพิจารณาที่ 4 แผ่น โดยที่แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคือ 14.0 V และจากการทดลองทำให้เราได้ทราบถึงค่าความต้านทานภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าประมาณ 2 Ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจรรอนุกรม

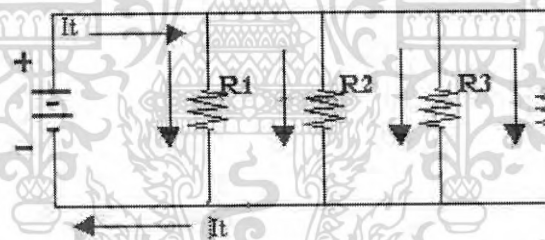
จากรูปที่ 3.13 สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของวงจรได้จาก

$$R_{รวม} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (3.1)$$

ดังนั้น $R_{รวม} = 8 \text{ Ohm}$

เมื่อรู้ค่า $R_{รวม}$ ก็สามารถคำนวณหาค่ากระแสรวมได้

ส่วนการต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบอนุกรมนี้เราจะพิจารณาที่ 4 แผ่น โดยที่แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคือ 14.0 V และจากการทดลองทำให้เราได้ทราบถึงค่าความต้านทานภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าประมาณ 2 Ohm



รูปที่ 3.14 วงจรขนาน

จากรูปที่ 3.14 สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของวงจรได้จาก

$$\frac{1}{R_{รวม}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \quad (3.2)$$

แทนค่าจะได้ค่าความต้านทานรวมของวงจร 2 Ohm เมื่อรู้ค่าความต้านทานรวมของวงจรก็สามารถคำนวณหาค่ากระแสรวมได้ 28 A

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความเย็นของวงจรรอนุกรมและวงจรขนานแล้ว จะเห็นได้ว่างจรรอนุกรมมีการกินกระแสเพียง 1.75 A แต่วงจรขนานใช้กระแสไปถึง 28 A จากแหล่งจ่ายเดียวกันและเมื่อทำการจ่ายกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 1.75 A จะได้อุณหภูมิต่ำสุดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นเพียง 20°C แต่เมื่อทำการจ่ายกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 28 A จะได้อุณหภูมิต่ำสุดของเย็นถึง 10°C โดยวัดจากฮีทซิงค์ที่อยู่ติดกับแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมอิเล็กทริกที่สุด แต่ถ้าหากเรามีความจำเป็นในการใช้ต่อแบบวงจรอนุกรมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หรือเทียบเท่ากับการต่อวงจรแบบขนานต้องทำการเพิ่มแรงดันให้กับแหล่งจ่ายไฟถึง 224 V

จากความแตกต่างนี้มีผลทำให้ประโยชน์ในการนำไปใช้แตกต่างกันมากดังนั้นเราจึงเลือกใช้การต่อแบบวงจรขนานเนื่องจากเป็นวงจรที่ใช้แหล่งจ่ายที่มีแรงดันต่ำและหากนึกถึงเมื่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกตัวใดตัวหนึ่งพังไปในวงจรก็สามารถที่จะทำงานต่อไปได้โดยวงจรไม่ขาด แต่ถ้าหากเป็นวงจรอนุกรมเมื่อตัวใดตัวหนึ่งขาดแล้วทั้งวงจรจะไม่สามารถใช้งานได้

3.2.1.3 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

ปริมาณความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สามารถทำได้จริง หาได้จากค่าพลังงานความร้อนที่ออกจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการแปลงหน่วยจาก J/s เป็นหน่วยของ Btu/hr จากข้อมูลผู้ผลิตพลังงานความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า 150.2 W อ้างอิงจากตารางที่ 3.1 เมื่อ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ เพราะฉะนั้น $150.2 \text{ W} = 150.2 \text{ J/s}$ เราต้องการหาปริมาณความเย็นที่สามารถทำได้ โดยที่ $1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J}$ โดยวิธีการเทียบบัญญัติโดยตรง

เมื่อพลังงานความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 1055 J มีค่าปริมาณของความเย็นเป็น 1 Btu ถ้าหากพลังงานความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 150.2 J จะทำให้ปริมาณความเย็น (Output) มีค่า 0.143 J/s จะสังเกตได้ว่าหน่วยของปริมาณความเย็นยังเป็นที่ 1 sec ต้องการปริมาณความเย็นที่ 1 hr โดยที่ $1 \text{ hr} = 3600 \text{ sec}$ จะได้ $0.143 \text{ J/s} \times 3600 = 514.8 \text{ Btu/hr}$ เมื่อได้ค่าปริมาณความเย็นที่สามารถทำได้จริงแล้ว จึงสามารถหาค่า EER ได้ดังสมการ 2.18 ซึ่งจะหมายถึงการใช้ไฟฟ้า 1 W จะได้ความเย็น 1.31 Btu/hr

การพิจารณาค่า EER ของเครื่องปรับอากาศที่สูง หมายถึงการจ่ายไฟฟ้าเท่ากัน แต่จะได้รับความเย็นมากกว่าหรือในทางกลับกันหากได้รับความเย็นเท่ากันแต่จ่ายค่าไฟฟ้าน้อยกว่า

3.2.1.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นหรือค่า COP คือค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งการคำนวณหาค่า COP ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากสารกึ่งตัวนำผ่านฉนวนหุ้มเซรามิก (ค่า Q) กับค่าพลังงานที่ใช้ในการจ่ายกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ค่า W) หรือหาได้จากสมการ 2.19 จะได้ 0.383 W

3.2.1.5 การวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัวและการทำความร้อนในท่อ

ภายในท่ออากาศผ่านเข้าไปในระบบทำความร้อนที่มีแหล่งพลังงานคือฮีตซิงค์ระบายความร้อนขนาด 0.3 kW ในสภาวะความดันบรรยากาศและที่อุณหภูมิแวดล้อม 25°C ด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตร $1.53 \text{ m}^3/\text{min}$ อากาศภายในท่อก็อัตราการสูญเสียความร้อนเป็น 0 W ค่าความต้านทานความร้อนของฮีตซิงค์มีค่า 0.2 kW เนื่องจากเป็นท่อที่หุ้มด้วยฉนวนชนิด PID Duct จะคำนวณหาอุณหภูมิที่ทางออกได้ ดังต่อไปนี้

จากกฎอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลคงตัว พิจารณาจากสมการ

2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนภาพจากระบบชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

เนื่องจาก $\Delta ke = 0$, $\Delta pe = 0$ จะได้ว่า

$$Q - W = m[(h_1 - h_2)] \quad (3.3)$$

จากมวลของอากาศ (m) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ 3.3

$$m = \frac{V_1}{v_1} \quad (3.4)$$

หาปริมาตรจำเพาะของอากาศ (v_1) โดยพิจารณาให้อากาศเป็นแก๊สอุดมคติ สามารถหาได้จากสมการ 2.17 จะได้ $v_1 = 0.844 \text{ m}^3/\text{kg}$ จะหา m จากสมการ 3.4 ในหน่วย kg/s จะได้ 0.03 kg/s

จากตารางเอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่ทางเข้าที่อุณหภูมิ 25°C (298 K) สามารถดูได้จากภาคผนวก ค จะได้ $h_1 = 298.18 \text{ kJ/kg}$ แทนค่าในสมการ 2.11 จะได้ค่า $h_2 = 318.18 \text{ kJ/kg}$ จากตารางเอนทัลปีจำเพาะของอากาศอ่านค่าอุณหภูมิได้ 320 K หรือ $T_2 = 47^\circ\text{C}$

คิดที่ด้านการได้รับความร้อน (ด้านเย็น) จะได้ว่าค่า $h_2 = 278.18 \text{ kJ/kg}$ จากตารางเอนทัลปีจำเพาะของอากาศอ่านค่าอุณหภูมิได้ อ่านค่าอุณหภูมิได้ 280 K หรือ $T_2 = 7^\circ\text{C}$

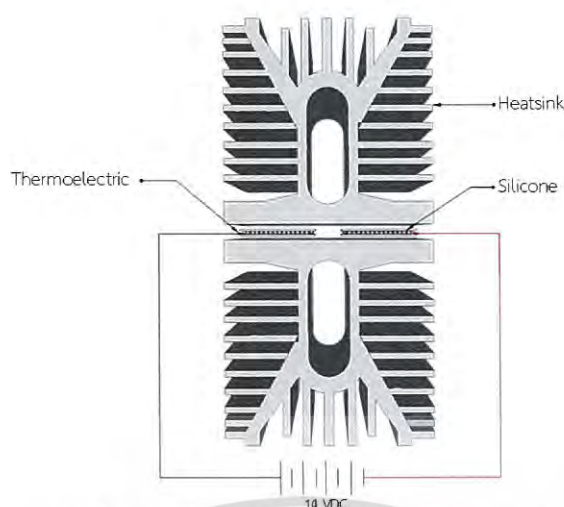
จากการคำนวณทำให้ทราบอุณหภูมิทางออกของท่อลมด้านร้อนเป็น 47°C หรือ 320 K อุณหภูมิทางออกของท่อลมด้านเย็นเป็น 7°C หรือ 280 K อุณหภูมิที่ได้ในที่นี้คือแหล่งจ่ายที่เป็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพียงสองแผ่น เนื่องจากขีดจำกัดความสามารถกระจายความร้อนของฮีทซิงค์มีค่าเพียง 200 W อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีทซิงค์คือ 2 ต่อ 1 คือฮีทซิงค์ 1 คู่สามารถระบายความร้อนที่มาจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น ได้ดีที่สุดถ้าหากต้องการอุณหภูมิทางออกที่สูงขึ้น จะต้องเพิ่มจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีทซิงค์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.2.2 การทดลองศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีทซิงค์จำนวน 1 คู่

- 1) ต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขนานด้วยเทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block) และนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ทาด้วยกาวซิลิโคนทั้งสองด้านประกบด้วยฮีทซิงค์ดังรูปที่

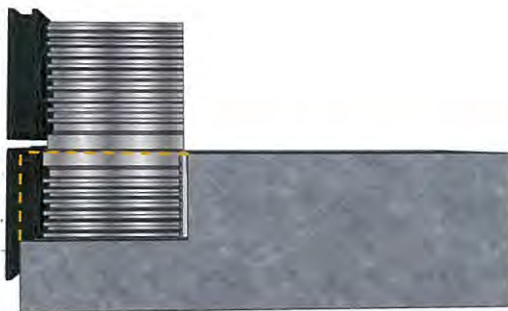
3.16 เพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนและทำความเย็นให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกบนฮีทซิงค์

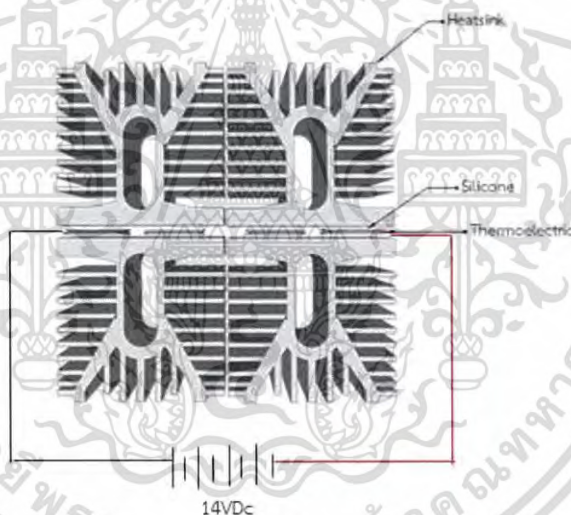
- 2) นำท่อส่งลมโดยใช้ท่อลมสแตนเลสหุ้มด้วยฉนวน มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 มาประกอบเข้ากับฮีทซิงค์ที่ติดกับพัดลมเพื่อส่งลมที่มาจากฮีทซิงค์แสดงดังรูปที่ 3.17 ในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับการระบายความร้อนเป็นสำคัญ หากการระบายความร้อนดีเท่าไร จะยิ่งทำให้อุณหภูมิด้านเย็นต่ำลงมากขึ้น จึงมีการติดพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนที่ฮีทซิงค์ด้านร้อนและติดพัดลมทางด้านเย็นด้วย
- 3) ในการทดลองนี้จะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการทดลองทีละแผ่น โดยเริ่มจาก 1 แผ่น
- 4) ทำการจ่ายแรงดัน 14 V ด้วยสวิตซ์ชิงพาวเวอร์ซัพพลาย พบว่าจะมีกระแสไหลผ่านที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัวไม่เกิน 7 A ทำให้ทราบว่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัวมีความต้านทานภายในประมาณ 2 Ohm ซึ่งแรงดันที่จ่ายไม่ถึงค่าสูงสุดของอุปกรณ์ จึงทำงานไม่ถึงค่าประสิทธิภาพสูงสุด แต่ถ้าทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจะทำให้ด้านร้อนและด้านเย็นมีอุณหภูมิต่างกันได้ถึง 70 °C
- 5) บันทึกค่าอุณหภูมิพื้นผิวของฮีทซิงค์ทางด้านร้อน (T_H) และด้านเย็น (T_C) ด้วยเทอร์โมมิเตอร์
- 6) บันทึกค่าอุณหภูมิขลมทางด้านร้อนด้วยแอนิโมมิเตอร์
- 7) บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 1 หน่วย ด้วยมัลติมิเตอร์
- 8) ทำการบันทึกผลในข้อ 1.2.3-1.2.5 ทุกๆ 5 min เป็นเวลา 30 min
- 9) หลังจาก 30 min (ในสภาวะอุณหภูมิด้านเย็นคงที่) จึงเปิดพัดลมระบายทางด้านเย็นเพื่อวัดอุณหภูมิจากลมด้านเย็นด้วยแอนิโมมิเตอร์และบันทึกผล
- 10) ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 2 และ 3 แผ่น ตามลำดับ และบันทึกผล



รูปที่ 3.17 ชุดทดลองการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านข้าง)

3.2.3 การทดลองเพื่อศึกษาและทดสอบความสามารถในการทำทำความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยควบคุมการจ่ายกระแสผ่านอาดูโน

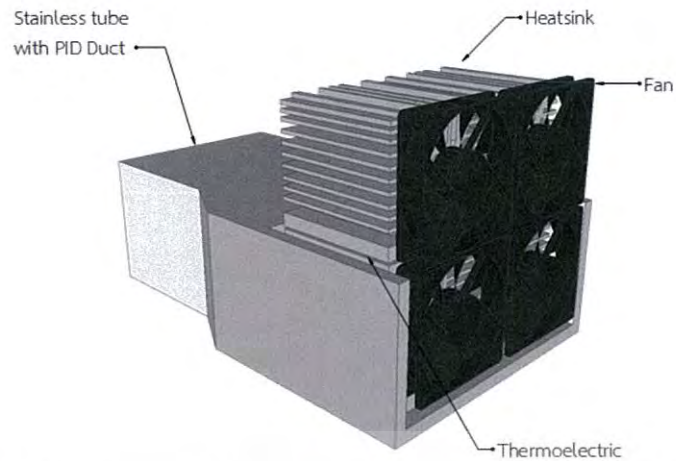
- 1) ต่อบอร์ดเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขนานด้วยเทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block) และนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 จำนวน 4 แผ่น ทาด้วยกาวซิลิโคนทั้งสองด้านประกบด้วยฮีตซิงค์ทั้งสองข้าง โดยใช้ฮีตซิงค์เพิ่มเป็น 2 คู่ เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความร้อนและทำความเย็นให้ดีขึ้น ดังรูปที่ 3.18



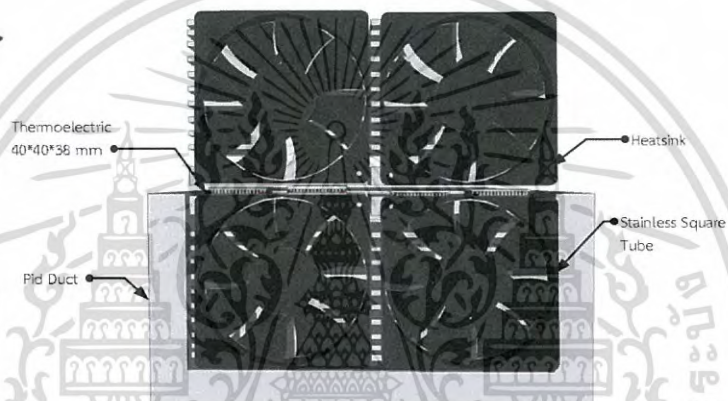
รูปที่ 3.18 การวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกบนฮีตซิงค์ 2 คู่

- 2) นำท่อส่งลมมาประกอบเข้ากับฮีตซิงค์และติดกับพัดลมเพื่อส่งลมที่มาจากฮีตซิงค์ ดังรูป 3.19 และ 3.20
- 3) ทำการจ่ายกระแสด้วยตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน โดยใช้อาดูโนเป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิ มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิติดอยู่ภายในท่อลมดังแสดงรายละเอียดส่วนควบคุมนี้ในหัวข้อ 3.2.4 ดังรูป 3.21
- 4) บันทึกค่าอุณหภูมิของลมที่ทางด้านเย็นด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
- 5) บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 4 หน่วย
- 6) ทำการบันทึกผลในข้อ 4-7 ทุกๆ 3 min เป็นเวลา 30 min

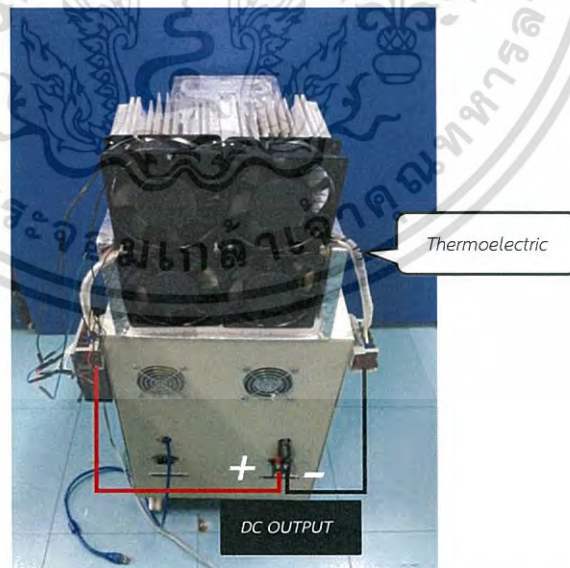
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านข้าง)



รูปที่ 3.20 ชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านบน)

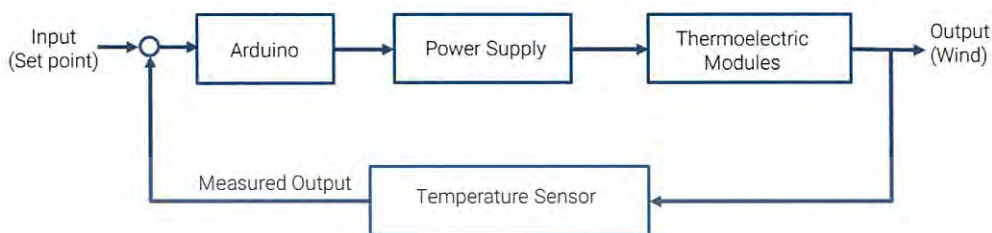


รูปที่ 3.21 รูปถ่ายจริงจากการทดลองการจ่ายกระแสด้วยตู้ควบคุมกระแสและแรงดันให้แก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ส่วนการควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับกระแสและแรงดันโดยใช้Arduino ควบคุม

ในส่วนการควบคุมนั้นจะออกแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับกระแสและแรงดันในการจ่ายให้กับส่วนทำความเย็น ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) อาร์ดูโนเมกกา 2560 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD) และตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน เป็นต้น การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์จะแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนผังส่วนควบคุม

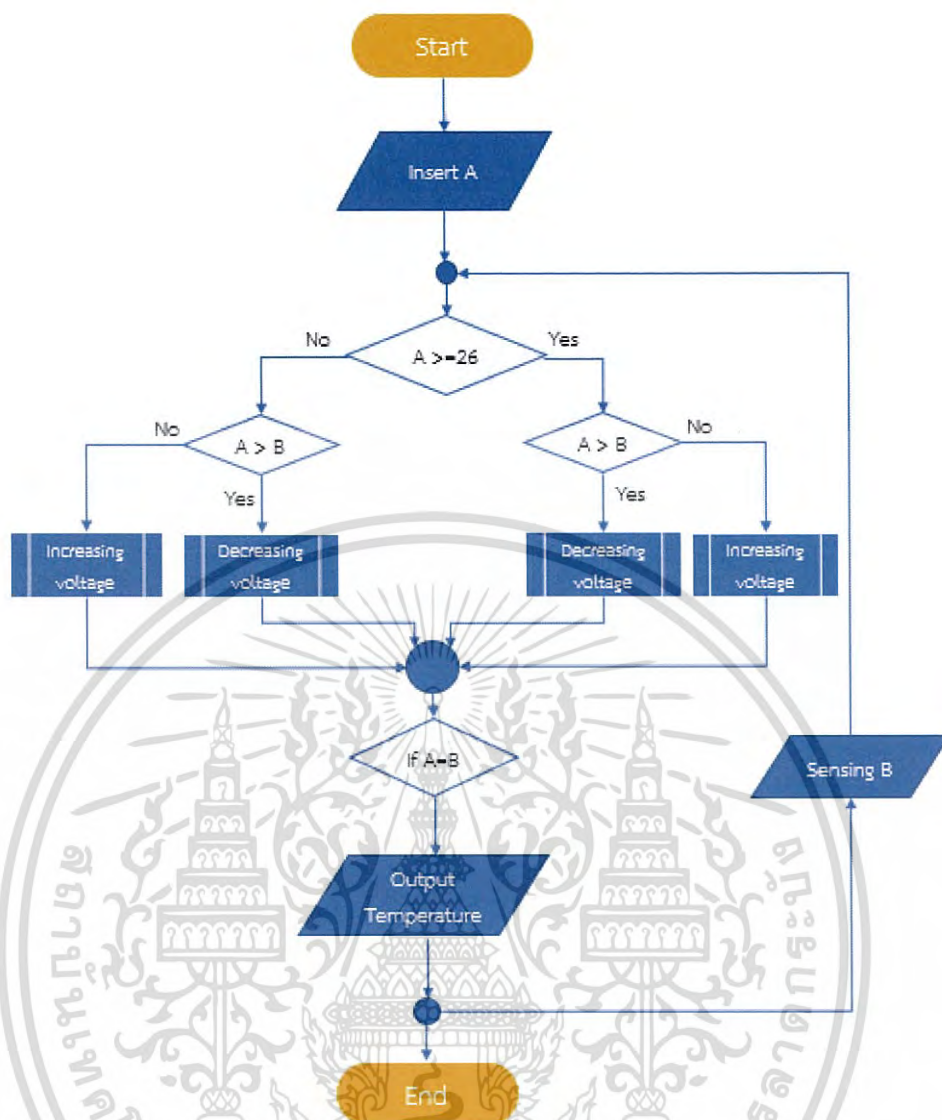
ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Arduino แสดงดังต่อไปนี้

- 1) ติดเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในห้อง โดยการติดเซนเซอร์ไว้ที่ผนังห้องด้านใน เมื่อส่วนทำความเย็นได้รับกระแสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้น เซนเซอร์จะตรวจจับอุณหภูมิที่ส่งผ่านมาทางลมและทำการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าให้กับ Arduino
- 2) เมื่อต้องการทำความเย็นค่าอุณหภูมิจะต้องต่ำลง Arduino ก็จะประมวลผลและส่งแรงดันแบบพัลส์ให้กับตู้ควบคุมกระแสและแรงดันดังแสดงในรูปที่ 3.23 และแสดงค่าอุณหภูมิออกมาทางจอแอลซีดี โดยเขียนโปรแกรม Arduino ควบคุมอุณหภูมิ โดยมีการทำงานตามแผนภาพดังรูปที่ 3.24 ซึ่งจะมีการรับค่าที่ต้องการจากแผงตัวเลขและค่าที่วัดจากเซนเซอร์มาเปรียบเทียบกับและประมวลผล
- 3) ตู้ควบคุมกระแสและแรงดันเมื่อได้รับสัญญาณจาก Arduino แล้ว จะส่งกระแสจำนวนหนึ่งไปยังโหลดหรือส่วนทำความเย็น โดยจะมีเงื่อนไขคือกระแสที่จะส่งให้โหลดต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในห้อง ถ้าหากอุณหภูมิมียิ่งเกินค่าที่กำหนดไว้กระแสจะต้องถูกจำกัดให้มากขึ้นหรือน้อยลง โดยตู้ควบคุมจะมีวงจรควบคุมภายใน แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 3.23 รูปถ่ายจากอุปกรณ์จริงของตู้ควบคุมกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงการทำงานของอาตุโน



รูปที่ 3.25 รูปถ่ายจริงของภาพรวมการทดลองชุดทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีตซิงค์ 1 คู่ โดยจะแสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิเมื่อใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 1, 2 และ 3 แผ่นตามลำดับ แสดงผลการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ในช่วงเวลา 45 min โดยควบคุมการจ่ายกระแสผ่านอาดูโน

4.1 การทดลองศึกษาความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีตซิงค์จำนวน 1 คู่

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่ฮีตซิงค์ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 1 แผ่น เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 7 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C

เวลา (min)	อุณหภูมิที่ฮีตซิงค์		อุณหภูมิของลมร้อน (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
	ด้านร้อน (°C)	ด้านเย็น (°C)		
5	27.0	26.0	25.53	6.58
10	31.0	26.0	26.21	6.63
15	33.0	25.0	26.68	6.70
20	35.0	24.0	26.89	6.75
25	37.0	24.0	27.64	6.80
30	38.0	23.5	27.96	6.85

เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 7 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 26 °C เมื่ออุณหภูมิด้านเย็นเริ่มคงที่ที่เวลา 30 min วัดอุณหภูมิของลมด้านเย็นได้ 25.05 °C

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 14 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C

เวลา (min)	อุณหภูมิที่ฮีทซิงค์		อุณหภูมิของลมร้อน (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
	ด้านร้อน (°C)	ด้านเย็น (°C)		
5	35.5	26.0	28.62	13.45
10	37.0	24.0	30.00	13.43
15	40.5	23.5	30.23	13.40
20	42.0	23.0	30.58	13.15
25	43.0	21.0	31.06	13.50
30	44.5	20.0	30.51	13.30

เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 7 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 26 °C เมื่ออุณหภูมิด้านเย็นเริ่มคงที่ที่เวลา 30 min วัดอุณหภูมิของลมด้านเย็นได้ 22.07 °C

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แผ่น เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 21 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 26 °C

เวลา (min)	อุณหภูมิที่ฮีทซิงค์		อุณหภูมิของลมร้อน (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
	ด้านร้อน (°C)	ด้านเย็น (°C)		
5	41.0	23.0	31.00	18.49
10	42.0	22.0	31.75	18.36
15	42.0	22.0	31.90	18.45
20	44.0	22.0	32.00	18.42
25	45.0	22.0	32.00	18.46
30	47.0	22.0	34.45	18.47

เมื่อป้อนกระแสให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 7 A และค่าความต่างศักย์ 14 V ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 26 °C เมื่ออุณหภูมิด้านเย็นเริ่มคงที่ที่เวลา 30 min วัดอุณหภูมิของลมด้านเย็นได้ 25.5 °C

จากการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการพาความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะเห็นว่า เมื่อใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 3 แผ่น อุณหภูมิด้านร้อนจะไม่สามารถระบายได้ดีเท่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 แผ่น สังเกตได้จากอุณหภูมิด้านเย็นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตามหลักการแล้วอุณหภูมิทางด้านเย็นจะต้องมีค่าลดลงเรื่อย ๆ หากต้องการเพิ่มจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีการเพิ่มการระบายของฮีทซิงค์หรือการระบายความร้อนรูปแบบอื่น เช่น น้ำ เป็นต้น แต่เนื่องจากในชุดทำความเย็นนี้จะไม่ใช้น้ำในการระบายความร้อนจึงใช้วิธีการเพิ่มจำนวนฮีทซิงค์

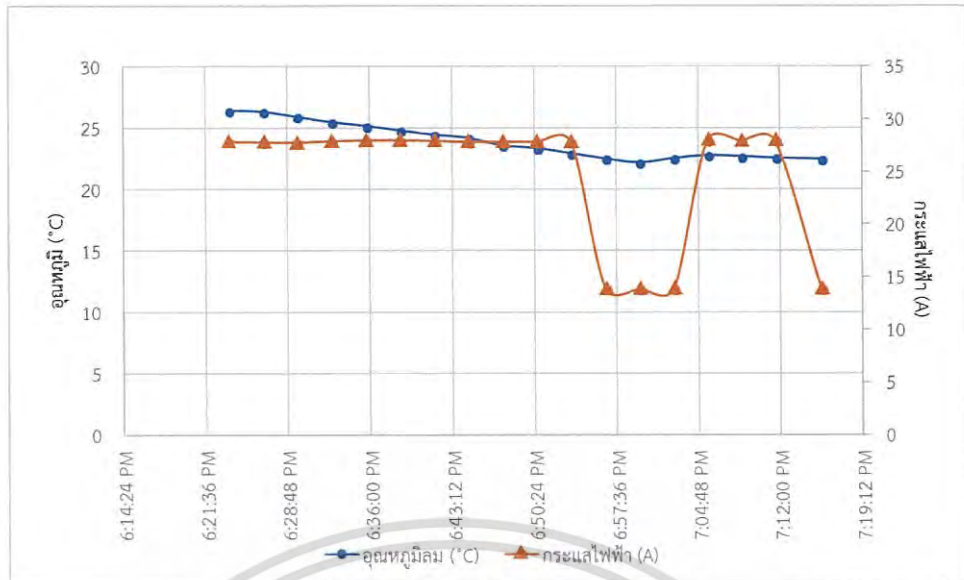
จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีทซิงค์คือจำนวน 2 ต่อ 1 คือฮีทซิงค์ 1 คู่ สามารถระบายความร้อนที่มาจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่นได้ดีที่สุด โดยหากเราต้องการเพิ่มอุณหภูมิด้านร้อนให้สูงขึ้นและอุณหภูมิด้านเย็นให้ต่ำลงไปอีก สามารถเพิ่มจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีทซิงค์ได้อีกแต่ต้องอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.2 การทดลองเพื่อศึกษาและทดสอบความสามารถในการทำ ความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยควบคุมการจ่ายกระแสผ่านอาดูโน

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 14 V กระแสไฟฟ้า 30 A ประกอบไปด้วยฮีทซิงค์ 2 คู่ พัดลมจำนวน 4 ตัว และแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 4 แผ่น

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองการศึกษาศักยภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการทำ ความเย็น (ลมเย็น)

เวลา (min)	อุณหภูมิสม (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
6:23:39 PM	26.38	27.84
6:26:38 PM	26.29	27.8
6:29:39 PM	25.88	27.78
6:32:38 PM	25.44	27.89
6:35:40 PM	25.13	27.97
6:38:38 PM	24.75	27.97
6:41:39 PM	24.41	27.92
6:44:37 PM	24.15	27.81
6:47:38 PM	23.54	27.83
6:50:39 PM	23.31	27.82
6:53:38 PM	22.89	27.82
6:56:38 PM	22.46	13.91
6:59:38 PM	22.15	13.83
7:02:38 PM	22.48	13.84
7:05:38 PM	22.72	27.92
7:08:38 PM	22.64	27.92
7:11:38 PM	22.52	27.92
7:15:38 PM	22.42	13.88

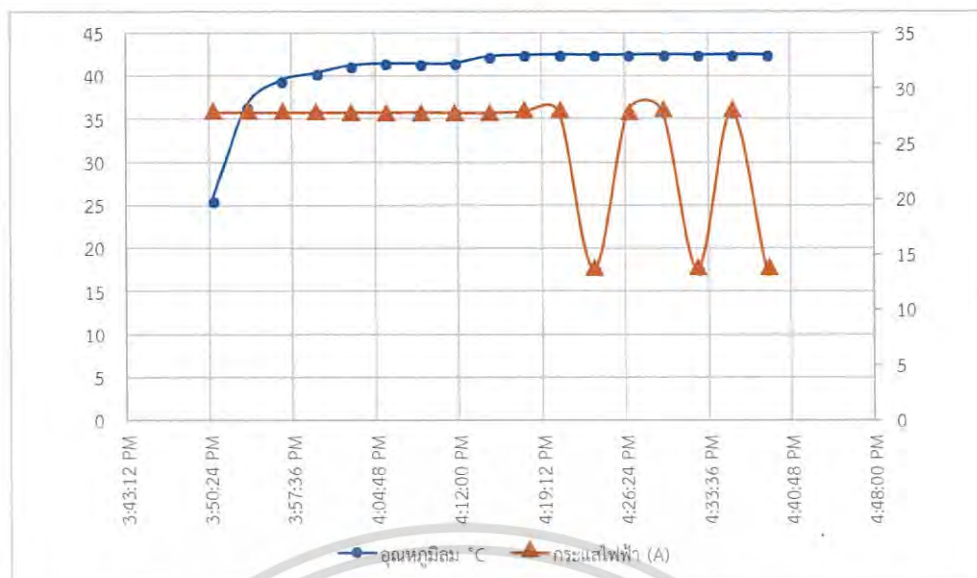


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมเย็นกับเวลาและปริมาณกระแสที่ให้กับระบบ

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองการศึกษาความสามารถของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความร้อน (ลมร้อน)

เวลา (min)	อุณหภูมิลม (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
3:50:38 PM	25.47	27.81
3:53:38 PM	36.48	27.83
3:56:38 PM	39.49	27.82
3:59:38 PM	40.36	27.82
4:02:38 PM	41.24	27.82
4:05:38 PM	41.47	27.83
4:08:38 PM	41.45	27.84
4:11:38 PM	41.49	27.80
4:14:38 PM	42.30	27.78
4:17:38 PM	42.45	27.89
4:20:38 PM	42.51	27.89
4:23:38 PM	42.45	13.72
4:26:38 PM	42.49	27.89
4:29:38 PM	42.53	27.89
4:32:38 PM	42.49	13.70
4:35:38 PM	42.52	27.88
4:38:38 PM	42.50	13.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมนร้อนกับเวลาและปริมาณกระแสที่ให้กับระบบ

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาที่ด้านลมเย็น จะเห็นได้ว่าเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของลมก็จะลดลงในขณะที่กระแสไฟฟ้าคงที่ 30 A แรงดันไฟฟ้า 14 V เนื่องจากเกิดการดูดซับความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีตซิงค์ เมื่อมือเราสัมผัสกับผิวฮีตซิงค์จะเกิดความเย็นขึ้นและเมื่อเปิดพัดลมจะพัดความเย็นเข้าสู่ท่อฉนวน ในทางกลับกันอีกด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดการคายความร้อนขึ้นและถ่ายเทความร้อนไปยังฮีตซิงค์เมื่อเราสัมผัสฮีตซิงค์จะเกิดความร้อนขึ้นที่ผิวเป็น นั่นเป็นเพราะคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ว่าเมื่อจ่ายกระแสให้สารกึ่งตัวนำชนิด P และ N จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเกิดการเคลื่อนที่ ถ้าอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่จากระดับพลังงานสูงไปยังระดับพลังงานต่ำจะทำให้เกิดการคายพลังงานหรือเกิดความร้อนขึ้นที่ผิวของเทอร์โมอิเล็กทริก แต่หากอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่จากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูง จะเกิดการดูดพลังงานทำให้ที่ผิวอีกด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเย็นขึ้นหรือเป็นผลจากปรากฏการณ์เพลเทียร์

ในทำนองเดียวกัน ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิ ได้แก่ ปริมาณกระแส วัสดุที่นำมาใช้ในการระบายความร้อน จำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและ เป็นต้น โดยเมื่อพิจารณาดารงที่ 4.1 และตารางที่ 4.5 ในตารางที่ 4.1 ได้ทำการทดลองที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 1 แผ่น ได้รับกระแสไฟฟ้า 7 A ใช้ฮีตซิงค์ 1 คู่ในการระบายความร้อนได้อุณหภูมิลมเย็นต่ำสุดที่ 25.05 °C และอุณหภูมิลมร้อนสูงสุดที่ 27.96 °C แต่ในตารางที่ 4.5 ทดลองที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 4 แผ่น ได้รับกระแสไฟฟ้า 30 A ใช้ฮีตซิงค์ในการระบายความร้อน 2 คู่จะได้อุณหภูมิลมเย็นต่ำสุดที่ 22.15 °C และอุณหภูมิลมร้อนสูงสุดที่ 42.62 °C เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการไว้ที่ 22.5 °C อาดูโนจะลดทอนความต่างศักย์ที่จ่ายออกไปยังตัวควบคุมกระแสและแรงดัน ทำให้กระแสไฟที่จ่ายออกมาให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงเหลือประมาณ 50% จนทำให้อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ กระแสไฟฟ้าก็จะกลับมาจ่ายที่ปริมาณเท่าเดิม และเมื่อพิจารณาจากการคำนวณทางทฤษฎีแล้วในบทที่ 3 ตามกฎอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว คำนวณค่าอุณหภูมิของท่อด้านร้อนได้เป็น 47 °C และอุณหภูมิของท่อด้านเย็นเป็น 7 °C เห็นได้ว่าที่ด้านเย็นของทางทฤษฎีและจากการทดลองแตกต่างกันอย่างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้คำนวณกับทางปฏิบัติไม่ตรงกัน อีกทั้งจากการคำนวณเราพิจารณาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ เช่น คุณภาพของกาาซิลิโคนที่มีประสิทธิภาพการกระจายพลังงานต่ำ หรือเนื่องด้วยปริมาณที่ไม่พอเหมาะ ลักษณะโครงสร้างของท่อลมที่เป็นระบบปิด ไม่มีการรบกวนของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น การป้องกันการเกิดการส่งถ่ายความร้อนในขณะที่ยึดซิงค์สองตัววางประกบกันอยู่ พฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิด้านเย็นไม่เป็นไปตามหลักการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปในการดำเนินงาน ปัญหาที่พบ แนวทางในการแก้ไขปัญหาลงรวมไปถึงข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาในครั้งต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการทำ ความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อฮีตซิงค์ 1 คู่ จากการทดสอบจะเห็นว่า เมื่อใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 3 หน่วย อุณหภูมิด้านร้อนจะไม่สามารถระบายได้ดีเท่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 หน่วย สังเกตได้จากอุณหภูมิด้านเย็นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตามหลักการแล้วอุณหภูมิทางด้านเย็นจะต้องมีค่าลดลงเรื่อยๆ หากต้องการเพิ่มจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีการเพิ่มการระบายของฮีตซิงค์หรือการระบายความร้อนรูปแบบอื่น แต่เนื่องจากในชุดทำความเย็นนี้เป็นระบบที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษา จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีตซิงค์คือจำนวน 2 ต่อ 1 คือฮีตซิงค์ 1 คู่ สามารถระบายความร้อนที่มาจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่นได้ดีที่สุด โดยหากเราต้องการเพิ่มอุณหภูมิด้านร้อนให้สูงขึ้นและอุณหภูมิด้านเย็นให้ต่ำลงไปอีก สามารถเพิ่มจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีตซิงค์ได้อีกแต่ต้องอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการทำ ความเย็นและความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วงเวลา 45 min ควบคุมการจ่ายกระแสผ่านอาดูโน้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 14 V กระแสไฟฟ้า 30 A ประกอบไปด้วยฮีตซิงค์ 2 คู่ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย และพัดลม 4 ตัว จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิมากที่สุดก็คือเวลา ปริมาณกระแสและฮีตซิงค์ พิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดตามทฤษฎีและจากการทดลองอุณหภูมิด้านเย็น (ลมเย็น) ในการทดลองจะมีค่าสูงกว่าทางทฤษฎีมาก ได้ค่าอุณหภูมิแตกต่าง (ΔT) แตกต่างกันถึง 4 เท่านั้นก็เป็นผลมาจากอุณหภูมิแวดล้อม ลักษณะโครงสร้างของท่อลมต้องเป็นในระบบปิดและไม่มีการระบายจากอุณหภูมิภายนอกที่อ้างอิงตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและต้องคำนึงถึงการออกแบบท่ออีกด้วย เพราะจะส่งผลต่อการรั่วไหลของลมเย็นหรือลมร้อนเข้ามาระบายในท่อลมเย็นและการตีกลับไปมาระหว่างตัวผนังท่อและฮีตซิงค์ ทำให้อุณหภูมิตรงปากท่อกับในท่อแตกต่างกัน รวมไปถึงประสิทธิภาพของกาวซิลิโคนที่ใช้ในการคำนวณถูกพิจารณาในทางอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถพิจารณาในทางอุดมคติได้ และการป้องกันการเกิดการส่งถ่ายความร้อนในขณะที่ฮีตซิงค์สองตัววางประกบกันอยู่พฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ในทางปฏิบัติวิธีการแก้ปัญหาด้านนี้ค่อนข้างควบคุมยาก อีกทั้งตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์จะต้องมีความเหมาะสมกับระยะเวลาการจับสัญญาณของเซนเซอร์

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นทั่วไปที่ใช้สารทำความเย็น โดยระบบทำความเย็นและความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถคิดค่า EER หรือปริมาณความเย็นที่เครื่องสามารถทำได้จริงได้จากบทที่ 3 คือ 1.31 BTU/hr/W หมายถึงการใช้ไฟฟ้า 1 W จะได้ความเย็น 1.31 BTU/hr ขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบทำความเย็นทั่วไปที่มีขนาด 9,000 BTU/hr มีค่า EER อยู่ที่ประมาณ 11 BTU/hr/W โดยค่า EER เป็นเกณฑ์ในการตัดสินฉลากพลังงาน ซึ่งระบบทำความร้อนและความเย็นโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในระดับประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าในฉลากพลังงานที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำหนด ขณะที่เครื่องทำความเย็นทั่วไปอยู่ในระดับ 5 คือมีประสิทธิภาพดีมากแต่ถึงแม้ว่าระบบทำความเย็นชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำแต่ก็มีข้อดีคือเป็นระบบที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษา เนื่องจากไม่มีการปล่อยมลพิษที่เกิดจากการทำความเย็นสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน มีการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับการทำความเย็นให้แก่ชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ น้ำหนักเบาและมีขนาดเล็ก หากมีการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนได้ดีก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการเพิ่มและลดอุณหภูมิในระบบอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ประสิทธิภาพในการทำความเย็นที่ได้ทำการทดลองไม่ได้ตรงตามทฤษฎี
2. ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีการระบายความร้อนที่ไม่ดีพอ เนื่องจากฮีทซิงค์ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินไป

5.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหา

การพัฒนาระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง จะทำให้ความสามารถทำความเย็นทางด้านเย็นมีอุณหภูมิเป็นไปตามที่คำนวณได้จากทฤษฎี ยกตัวอย่างเช่น การใช้ฮีทไปป์ (Heat Pipe) หรือการระบายความร้อนด้วยน้ำหรือของเหลวที่มีระบบไหลเวียนแทนที่ตลอดเวลา เป็นต้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ประสิทธิภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับการระบายความร้อน จึงจำเป็นจะต้องการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
2. เนื่องจากส่วนประกอบภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N จะเกิดการคายความร้อนและดูดความร้อน โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปตามหลักการของเพลเทียร์และเพื่อเป็นยืดยาวการใช้งานของแผ่น การจ่ายกระแสแบบลำดับขั้นเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดและสิ่งที่ต้องพึงระวังที่สุดในเรื่องการจัดจ่ายไฟแบบกระชาก อาจทำให้อุณหภูมิด้านร้อนไม่สามารถระบายออกจากแผ่นได้ทัน อุณหภูมิของด้านร้อนจะเคลื่อนที่มายังด้านที่อุณหภูมิต่ำจะเป็นเหตุให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพังได้

บรรณานุกรม

- [1] เจริญพร เลิศสถิตธนกร และวิชาญ ศรีสุวรรณ, “การศึกษาเชิงทดลองของผ้าเปดานทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, ขอนแก่น, หน้า 1, 2547.
- [2] สมัญญา เมฆนิตติ, “ต้นแบบของผนังอาคารอัจฉริยะที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและโฟโตโวลตาอิกสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงาน”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557
- [3] นิกธ จงจิตวิมล, วรวิทย์ รัตนวงศ์ และวีระ ตอดแก้ว, “เทอร์โมอิเล็กทริกทรานซิสเตอร์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555
- [4] กฤติน อุ่นทิ และสรายุทธ ทาหนองบัว, “การศึกษาความเป็นไปได้ของการประดิษฐ์ระบบทำความเย็นระดับต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555
- [5] วรวิทย์ โกสลาทิพย์ และทศวิทย์ คัมภีระพันธุ์, “แผ่นทำความเย็น Peltier”, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://webstaff.kmutt.ac.th/~ivorthip/TE/> (10 กันยายน 2560).
- [6] วรเชษฐ จันดีศาต, อนุชิต คาเขียว, “เครื่องควบคุมอุณหภูมิความร้อนสำหรับเวชภัณฑ์ทางยาแบบเคลื่อนย้ายได้โดยเทอร์โมอิเล็กทริก”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 2557
- [7] “แผ่นทำความเย็น Peltier”, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.bloggang.com/viewfb.php?id=kanichikoong&month=25-04-2015&group=17&gblog=20> (10 กันยายน 2560).
- [8] เชรชฐา รัตนพันธ์, “เทอร์โมอิเล็กทริกส์”, กรุงเทพฯ : มินิ เซอร์วิส ซัพพลาย, 2560.
- [9] ภูวดล วิบูลย์ชูรนนท์ และสุนิสา สรุพันธ์, “การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าร่วมเซลล์แสงอาทิตย์และเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557.
- [10] Thanchanok Sripeng, “การ MODIFY ฮีทซิงค์และพัดลมระบายความร้อน”, 2556. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://auey001edu.blogspot.com/2013/08/heatsink-fan.html?m=1> (21 กันยายน 2560).
- [11] John R. Gyorki, “How to Select a Suitable Heat Sink”, 2009. [Online] Available : http://www.designworldonline.com/how-to-select-a-suitable-heat-sink/#_ (Sep 19, 2017).
- [12] Transmeta, “TM5500/TM5800 Thermal Design Guide”, USA : Transmeta Corporation, 2002

- [13] สมชัย อัครทิวา และขวัญจิต วงษ์ขารี, “เทอร์โมไดนามิกส์”, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แมคกรอฮิล, 2554.
- [14] Factomart Content Team, “Switching Power Supply กับหลักการทำงานที่ควรรู้”, 2560. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-switching-power-supply/> (7 ตุลาคม 2560).
- [15] พงศ์รัช ชีพพิมลชัย และอโณ โชติมณี. “สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเบื้องต้น”, 2560 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/ (10 ตุลาคม 2560).
- [16] “Arduino”, 2560 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics> (19 มกราคม 2561).
- [17] Factomart Content Team. “โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของ SCR”, 2560 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-scr/> (16 กุมภาพันธ์ 2561).
- [18] “Sensor SHT15”, 2017. [Online]. Available : <http://www.ett.co.th/productSensor/ET-SENSOR%20SHT15/ET-SENSOR-SHT15.html> (Feb 20, 2018).
- [19] “กระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว”, 2554. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://mte.kmutt.ac.th/elearning/themodanamic/web2/b33/5.htm> (19 กันยายน 2560).
- [20] กมลวรรณ บุญเจริญ, “ค่า EER บอกประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ”, 2556. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.gotoknow.org/posts/548222> (15 กันยายน 2560).
- [21] Cha era, “การหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ”, 2559. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://chayan1.blogspot.com/2016/06/blog-post.html> (15 กันยายน 2560).
- [22] อุดมศักดิ์ ยิ่งยืน, “POWER ELECTRICS I”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, หน้า 78-80, 2528



ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิลีกทริก รุ่น TEC1-12715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

Description

The 127 couples, 50 mm × 50 mm size single module which is made of our high performance ingot to achieve superior cooling performance and 70 °C or larger delta T max, is designed for superior cooling and heating applications. Beyond the standard below, we can design and manufacture the custom made module according to your special requirements.

Features

- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly
- RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

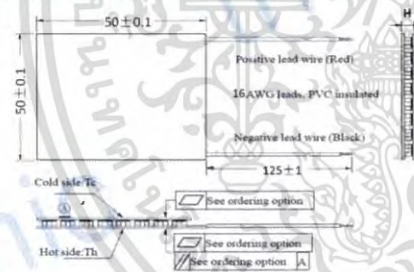
Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- CPU cooler and scientific instrument
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

Th (°C)	27	50	Hot side temperature at environment; dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (amps)	15.0	15.0	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	150.2	164.2	Cooling capacity at cold side of the module under DT = 0 °C
AC resistance (ohms)	0.80	0.88	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	± 10		For thermal and electricity parameters

Geometric Characteristics Dimensions in millimeters



Manufacturing Options

A. Solder:

1. T100: BiSn (Melting Point=138°C)
2. T200: CuSn (Melting Point= 227 °C)

B. Sealant:

1. NS: No sealing (Standard)
2. SS: Silicone sealant
3. EPS: Epoxy sealant
4. Customer specify sealing

C. Ceramics:

1. Alumina (Al₂O₃, white 96%)(AIO)
2. Aluminum Nitride (AlN)

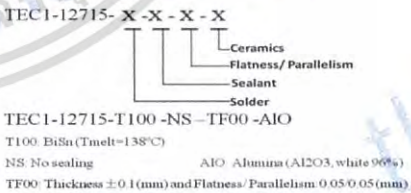
D. Ceramics Surface Options:

1. Blank ceramics (not metalized)
2. Metalized (Copper-Nickel plating)

Ordering Option

Suffix	Thickness (mm)	Flatness/ Parallelism (mm)	Lead wire length(mm) Standard/Optional length
TF	0:4.0±0.1	0:0.05/0.05	125±1/Specify
TF	1:4.0±0.05	1:0.025/0.025	125±1/Specify
Eg. TF00: Thickness 4.0 ± 0.1 (mm) and Flatness 0.05 / 0.05 (mm)			

Naming for the Module

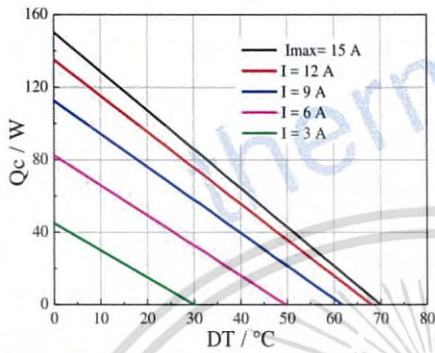
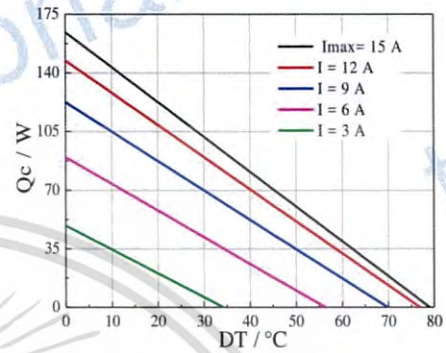
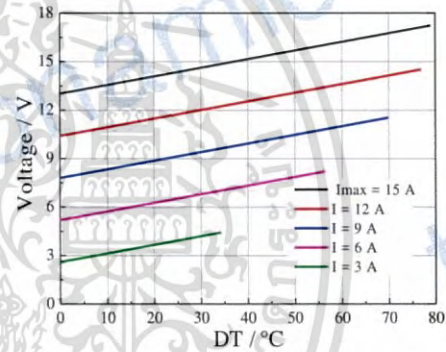
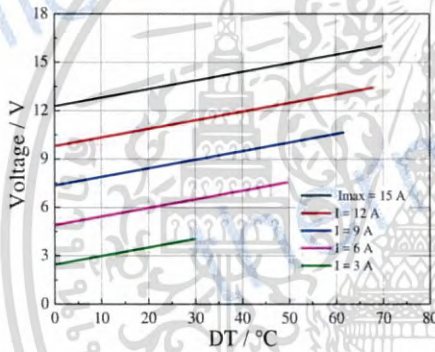
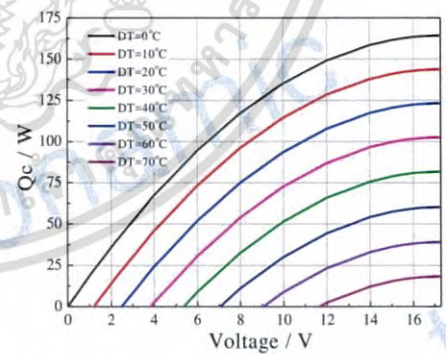
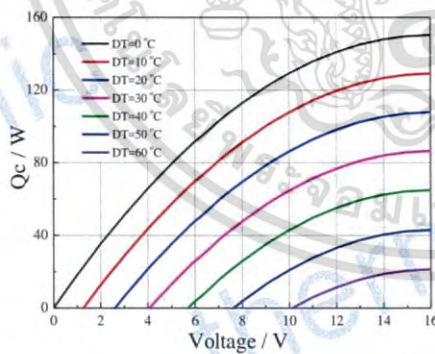


Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products
Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: sales@thermonamic.com.cn Web Site: www.thermonamic.com.cn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

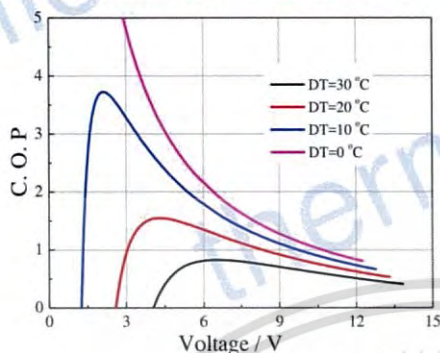
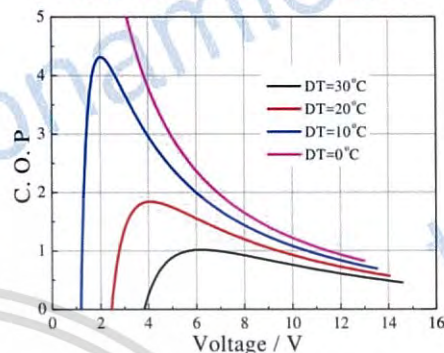
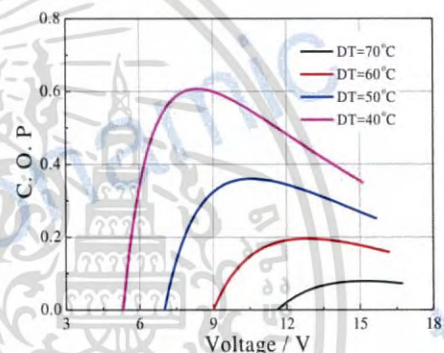
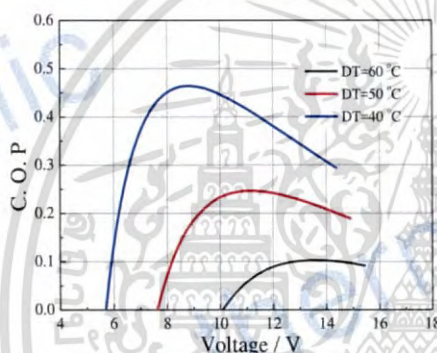
Performance Curves at $T_h=27^\circ\text{C}$ Performance Curves at $T_h=50^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph $Q_c = f(DT)$ Standard Performance Graph $V = f(DT)$ Standard Performance Graph $Q_c = f(V)$

Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products
Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: sales@thermonamic.com.cn Web Site: www.thermonamic.com.cn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

Performance Curves at $T_h=27^\circ\text{C}$ Performance Curves at $T_h=50^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph $\text{COP} = f(V)$ of ΔT ranged from 0 to 30°C Standard Performance Graph $\text{COP} = f(V)$ of ΔT ranged from 40 to $60/70^\circ\text{C}$

Remark: The coefficient of performance (COP) is the cooling power Q_c /Input power ($V \times I$).

Operation Cautions

- Cold side of the module stuck on the object being cooled
- Hot side of the module mounted on a heat radiator
- Storage module below 100°C
- Operation below I_{max} or V_{max}
- Work under DC

Note: All specifications subject to change without notice.

Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products

Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: sales@thermonamic.com.cn Web Site: www.thermonamic.com.cn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● HEATSINK

2

HP-SERIES

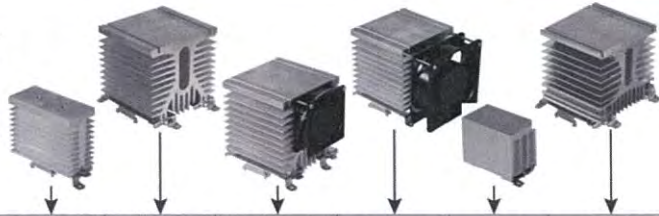
HEATSINK



PRIMUS

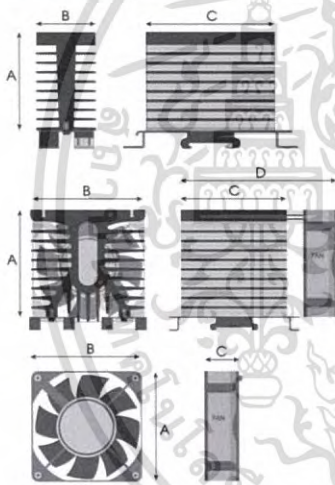
คุณสมบัติ

อุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับโหลดสแตทรีเลย์ เพื่อยืดอายุการใช้งานของโหลดสแตทรีเลย์ให้มีความทนทาน และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น มีให้เลือกใช้งานหลายขนาดสำหรับโหลดสแตทรีเลย์ 1 เฟส และ 3 เฟส ใช้ได้กับทุกยี่ห้อ



Model	HP-01	HP-02	HP-02-F	HP-02-F-B	HP-03	HP-04
Thermal Characteristics	1.95 kW	0.9 kW	0.3 kW	0.2 kW	1.95 kW	0.75 kW
Type	1Ø SSR	3Ø SSR	3Ø SSR	3Ø SSR	1Ø SSR	3Ø SSR
Specifications	for DIN rail	for DIN rail	Ventilated for DIN rail with fan supply 220/240 VAC	Ventilated for DIN rail with fan supply 220/240 VAC	for DIN rail	for DIN rail
Fans	ไม่มี	ไม่มี	SF23080AT (HBLGN)	FP-108-1(S-1)	ไม่มี	ไม่มี
Air Volume	ไม่มี	ไม่มี	18 CFM 0.5 M ³ /Min	80 CFM 2.3 M ³ /Min	ไม่มี	ไม่มี
Weight	0.66 Kg.	2.02 Kg.	2.28 Kg.	2.54 Kg.	0.32 Kg.	1.30 Kg.

ขนาดและมิติ



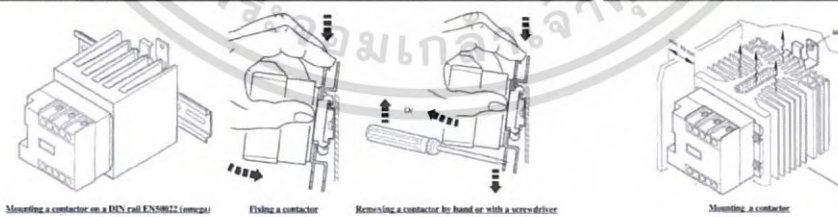
Dimensions (mm.)	A	B	C
HP-01	95 mm.	51 mm.	111 mm.
HP-02	123 mm.	119 mm.	110 mm.
HP-03	60 mm.	48 mm.	78 mm.
HP-04	100 mm.	110 mm.	100 mm.

Dimensions (mm.)	A	B	C	D
HP-02-F	123 mm.	120 mm.	110 mm.	137 mm.
HP-02-F-B	123 mm.	120 mm.	110 mm.	168 mm.

Dimensions (mm.)	A	B	C
F (Fan for HP-02-F)	80 mm.	80 mm.	25 mm.
F-B (Fan for HP-02-F-B)	119 mm.	119 mm.	38 mm.

การติดตั้งใช้งาน

ลักษณะการทำงาน



Primus Catalogue 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE A-17

Ideal-gas properties of air

Air	T K	h kJ/kg	P	u kJ/kg	v_r	s° kJ/(kg · K)	T K	h kJ/kg	P	u kJ/kg	v_r	s° kJ/(kg · K)
	200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
	210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
	220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
	230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
	240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
	250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
	260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
	270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
	280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
	285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
	290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
	295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
	300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
	305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
	310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
	315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
	320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
	325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
	330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
	340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
	350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
	360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
	370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
	380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
	390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
	400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
	410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01693	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
	420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
	430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
	440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
	450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
	460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
	470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
	480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
	490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
	500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
	510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
	520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
	530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
	540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
	550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
	560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
	570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), pp. 785–86, table A-5. Originally published in J. H. Keenan and J. Kaye, *Gas Tables* (New York: John Wiley & Sons, 1948).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)

Humidity and Temperature Sensor IC

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

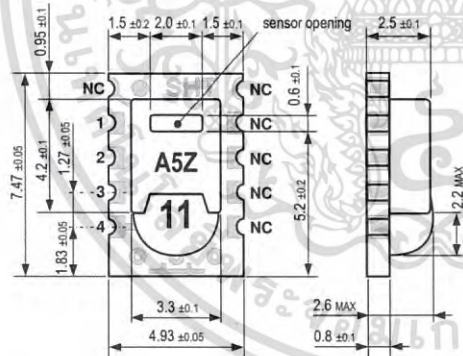


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-H4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check www.sensirion.com/humidity.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Non-linearity	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

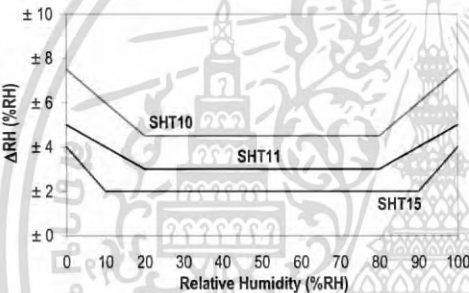


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

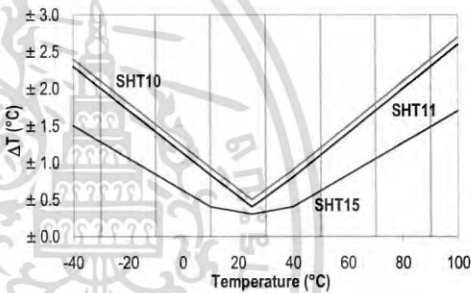


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		90		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.
² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.
³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.
⁵ Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.
⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

Users Guide SHT1x

1 Application Information

1.1 Operating Conditions

Sensor works stable within recommended normal range – see Figure 4. Long term exposures to conditions outside normal range, especially at humidity >80%RH, may temporarily offset the RH signal (+3 %RH after 60h). After return to normal range it will slowly return towards calibration state by itself. See Section 1.4 “Reconditioning Procedure” to accelerate eliminating the offset. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

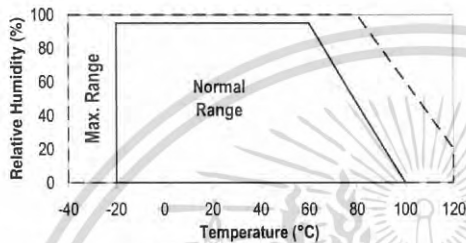


Figure 4: Operating Conditions

1.2 Soldering instructions

For soldering SHT1x standard reflow soldering ovens may be used. The sensor is qualified to withstand soldering profile according to IPC/JEDEC J-STD-020D with peak temperatures at 260°C during up to 40sec including Pb-free assembly in IR/Convection reflow ovens.

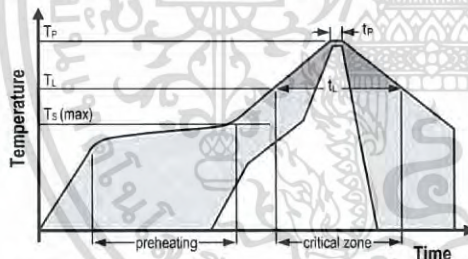


Figure 5: Soldering profile according to JEDEC standard. $T_P \leq 260^\circ\text{C}$ and $t_P < 40\text{sec}$ for Pb-free assembly. $T_L < 220^\circ\text{C}$ and $t_L < 150\text{sec}$. Ramp-up/down speeds shall be $< 5^\circ\text{C/sec}$.

For soldering in Vapor Phase Reflow (VPR) ovens the peak conditions are limited to $T_P < 233^\circ\text{C}$ during $t_P < 60\text{sec}$ and ramp-up/down speeds shall be limited to 10°C/sec . For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350°C ⁷.

⁷ $233^\circ\text{C} = 451^\circ\text{F}$, $260^\circ\text{C} = 500^\circ\text{F}$, $350^\circ\text{C} = 662^\circ\text{F}$

IMPORTANT: After soldering the devices should be stored at >75%RH for at least 12h to allow the polymer to re-hydrate. Otherwise the sensor may read an offset that slowly disappears if exposed to ambient conditions. Alternatively the re-hydration process may be performed at ambient conditions (>40%RH) during more than 5 days.

In no case, neither after manual nor reflow soldering, a board wash shall be applied. Therefore it is strongly recommended to use “no-clean” solder paste. In case of application with exposure of the sensor to corrosive gases or condensed water (i.e. environments with high relative humidity) the soldering pads shall be sealed (e.g. conformal coating) to prevent loose contacts or short cuts.

For the design of the SHT1x footprint it is recommended to use dimensions according to Figure 7. Sensor pads are coated with $35\mu\text{m Cu}$, $5\mu\text{m Ni}$ and $0.1\mu\text{m Au}$.

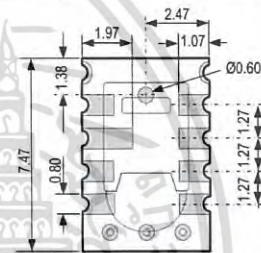


Figure 6: Rear side electrodes of sensor, view from top side.

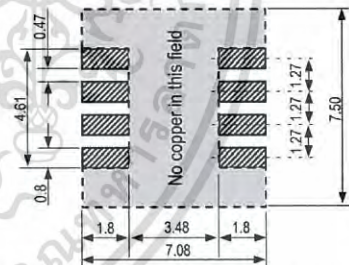


Figure 7: Recommended footprint for SHT1x. Values in mm.

1.3 Storage Conditions and Handling Instructions

It is of great importance to understand that a humidity sensor is not a normal electronic component and needs to be handled with care. Chemical vapors at high concentration in combination with long exposure times may offset the sensor reading.

For these reasons it is recommended to store the sensors in original packaging including the sealed ESD bag at

following conditions: Temperature shall be in the range of 10°C – 50°C (0 – 125°C for limited time) and humidity at 20 – 60%RH (sensors that are not stored in ESD bags). For sensors that have been removed from the original packaging we recommend to store them in ESD bags made of metal-in PE-HD⁸.

In manufacturing and transport the sensors shall be prevented of high concentration of chemical solvents and long exposure times. Out-gassing of glues, adhesive tapes and stickers or out-gassing packaging material such as bubble foils, foams, etc. shall be avoided. Manufacturing area shall be well ventilated.

For more detailed information please consult the document "Handling Instructions" or contact Sensirion.

1.4 Reconditioning Procedure

As stated above extreme conditions or exposure to solvent vapors may offset the sensor. The following reconditioning procedure may bring the sensor back to calibration state:

Baking: 100 – 105°C at < 5%RH for 10h
 Re-Hydration: 20 – 30°C at ~ 75%RH for 12h⁹.

1.5 Temperature Effects

Relative humidity reading strongly depends on temperature. Therefore, it is essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured. In case of testing or qualification the reference sensor and test sensor must show equal temperature to allow for comparing humidity readings.

If the SHT1x shares a PCB with electronic components that produce heat it should be mounted in a way that prevents heat transfer or keeps it as low as possible. Measures to reduce heat transfer can be ventilation, reduction of copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB or milling a slit into the PCB around the sensor (see Figure 8).

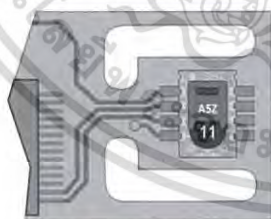


Figure 8: Top view of example of mounted SHT1x with slits milled into PCB to minimize heat transfer.

⁸ For example, 3M antistatic bag, product "1910" with zipper.

⁹ 75%RH can conveniently be generated with saturated NaCl solution. 100 – 105°C correspond to 212 – 221°F, 20 – 30°C correspond to 68 – 86°F

Furthermore, there are self-heating effects in case the measurement frequency is too high. Please refer to Section 3.3 for detailed information.

1.6 Light

The SHT1x is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

1.7 Membranes

SHT1x does not contain a membrane at the sensor opening. However, a membrane may be added to prevent dirt and droplets from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times the air volume behind the membrane must be kept minimal. Sensirion recommends and supplies the SF1 filter cap for optimal IP54 protection (for higher protection – i.e. IP67 - SF1 must be sealed to the PCB with epoxy). Please compare Figure 9.

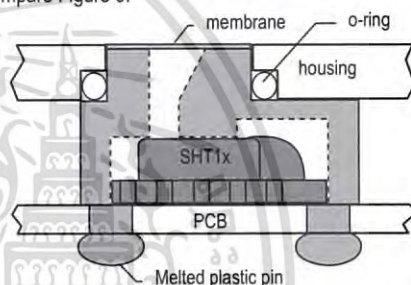


Figure 9: Side view of SF1 filter cap mounted between PCB and housing wall. Volume below membrane is kept minimal.

1.8 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: Any metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF.

For sealing and gluing (use sparingly): Use high filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Out-gassing of these materials may also contaminate the SHT1x (see Section 1.3). Therefore try to add the sensor as a last manufacturing step to the assembly, store the assembly well ventilated after manufacturing or bake at >50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

1.9 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be

resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals and/or using shielded cables. Furthermore, slowing down SCK frequency will possibly improve signal integrity. Power supply pins (VDD, GND) must be decoupled with a 100nF capacitor if wires are used. Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

1.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$ according to JEDEC78A. See Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected



Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol; however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

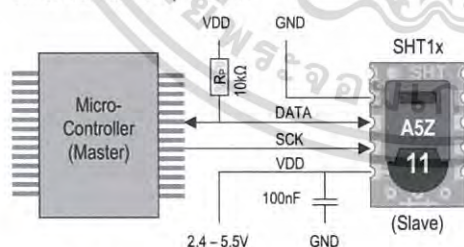


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_P and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK the DATA value may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{SU} and T_{HO} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10kΩ) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4$ mA	0		250	mV
High level output voltage	$R_P < 25$ kΩ	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_P stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

¹¹ Minimum value with one measurement of 8bit resolution without OTP reload per second. Typical value with one measurement of 12bit resolution per second.

Absolute maximum ratings for VDD versus GND are +7V and -0.3V. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the sensor reliability (e.g. hot carrier degradation, oxide breakdown). For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

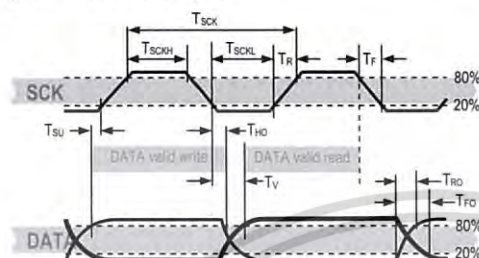


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F _{SCK}	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
	VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T _{SCKH}	SCK hi/low time	100			ns
T _R /T _F	SCK rise/fall time	1	200	*	ns
T _{FO}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	ns
		OL = 100pF	30	40	ns
T _{RO}	DATA rise time	**	**	**	ns
T _V	DATA valid time	200	250	***	ns
T _{SU}	DATA setup time	100	150	***	ns
T _{HO}	DATA hold time	10	15	****	ns

* $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$

** T_{RO} is determined by the R_PC_{OUT} time-constant at DATA line

*** T_{V,max} and T_{SU,max} depend on external pull-up resistor (R_P) and total bus line capacitance (C_{bus}) at DATA line

**** T_{HO,max} < T_V - max (T_{RO}, T_{FO})

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.

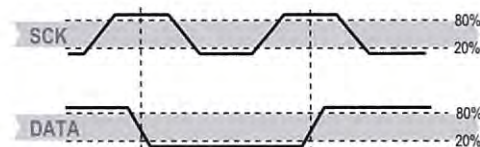


Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C, SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.



Figure 13: Connection Reset Sequence

3.5 CRC Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned. Please consult Application Note "CRC Checksum" for information on how to calculate the CRC.

3.6 Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end-of-battery notice, use of OTP reload or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features.

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figure 14 and Figure 15 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.

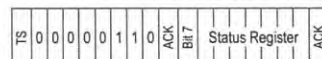


Figure 14: Status Register Write

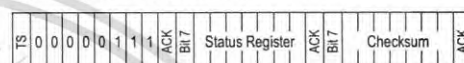


Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figure 16 and Figure 17.

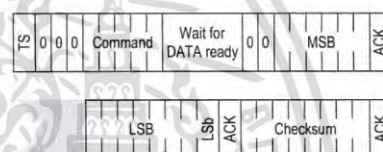


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

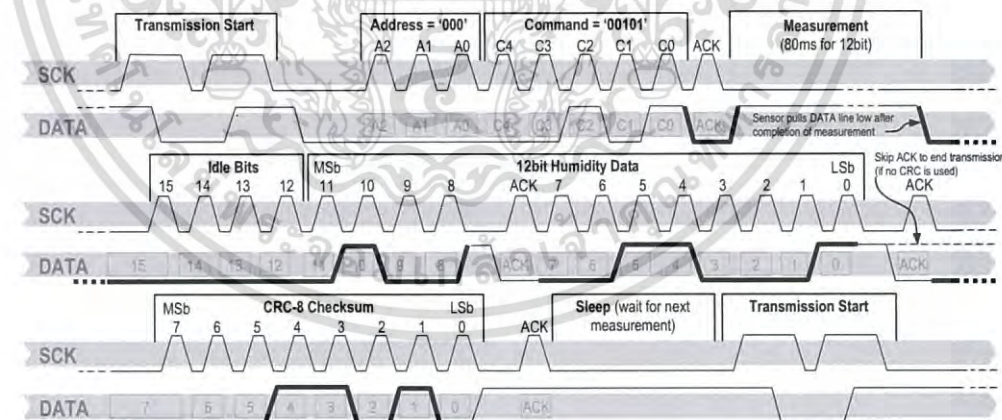


Figure 17: Example RH measurement sequence for value "0000'0100'0011'0001" = 1073 = 35.50%RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47V. Accuracy is $\pm 0.05V$.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by $5 - 10^{\circ}C^{12}$ beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

OTP reload: With this operation the calibration data is uploaded to the register before each measurement. This may be deactivated for reducing measurement time by about 10ms.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout

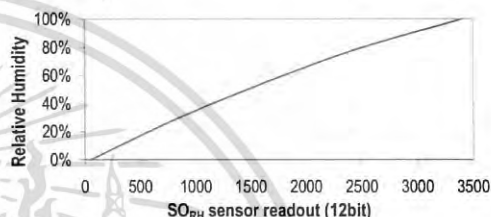
(SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (\%RH)$$

SO_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: Humidity conversion coefficients

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from $25^{\circ}C$ ($\sim 77^{\circ}F$) the humidity signal requires temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to $0.12\%RH/^{\circ}C$ @ $50\%RH$. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 7.

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7: Temperature compensation coefficients

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

¹² Corresponds to $9 - 18^{\circ}F$

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 8: Temperature conversion coefficients.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 9:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T _n (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

Table 9: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that "ln(...)" denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note "Introduction to Humidity".

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note "Qualification Guide".

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. G qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100

temperature grade 2 test conditions listed in Table 10¹⁴. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer's specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁵
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH / ≈2.3bar, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with T _{amb} = 80°C, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 10: Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated Stress Test, THB = Temperature Humidity Unbiased

6 Packaging

6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap – see "A5Z" on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and testing. No information can be derived from the code directly; respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.

¹⁴ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁵ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.

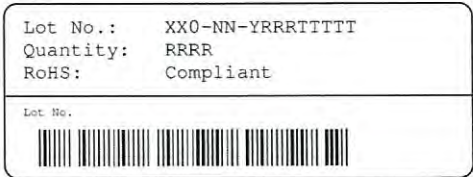


Figure 19: First label on reel: XX = Sensor Type (11 for SHT11), NN = Chip Version (04 for V4), Y = last digit of year, RRR = number of sensors on reel divided by 10 (200 for 2000 units), TTTTT = Traceability Code.

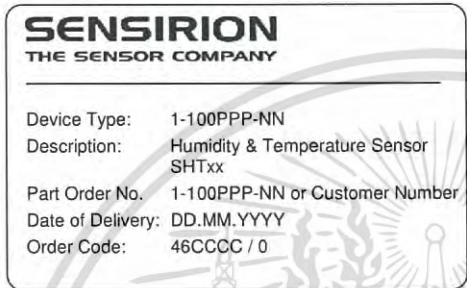


Figure 20: Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

6.3 Shipping Package

SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs, 400pcs and 2000pcs – for details see Figure 21 and Table 11. Reels

are individually labeled with barcode and human readable labels.

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

Table 11: Packaging types per sensor type.

Dimensions of packaging tape are given in Figure 21. All tapes have a minimum of 480mm empty leader tape (first pockets of the tape) and a minimum of 300mm empty trailer tape (last pockets of the tape).

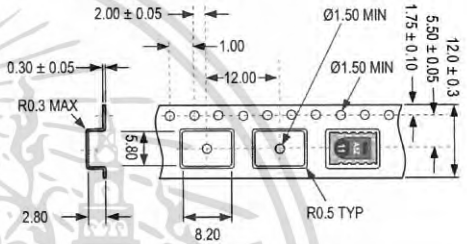


Figure 21: Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).

Revision History

Date	Version	Page(s)	Changes
July 2008	4.0	1 – 11	New release, rework of datasheet
September 2008	4.1	3, 4	Adjustment of normal operating range and recommendation for antistatic bag
April 2009	4.2	2, 7	Amended foot note 2, communication diagram updated (Figure 17).
May 2010	4.3	1 – 11	Various errors corrected and additional information given (ask for change protocol).
December 2011	5	1, 8, 9	Reference to V3 sensors eliminated.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Important Notices

Warning, Personal Injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Do not use this product for applications other than its intended and authorized use. Before installing, handling, using or servicing this product, please consult the data sheet and application notes. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

If the Buyer shall purchase or use SENSIRION products for any unintended or unauthorized application, Buyer shall defend, indemnify and hold harmless SENSIRION and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if SENSIRION shall be allegedly negligent with respect to the design or the manufacture of the product.

ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take customary and statutory ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

Warranty

SENSIRION warrants solely to the original purchaser of this product for a period of 12 months (one year) from the date of delivery that this product shall be of the quality, material and workmanship defined in SENSIRION's published specifications of the product. Within such period, if proven to be defective, SENSIRION shall repair and/or replace this product, in SENSIRION's discretion, free of charge to the Buyer, provided that:

- notice in writing describing the defects shall be given to SENSIRION within fourteen (14) days after their appearance;

- such defects shall be found, to SENSIRION's reasonable satisfaction, to have arisen from SENSIRION's faulty design, material, or workmanship;
- the defective product shall be returned to SENSIRION's factory at the Buyer's expense; and
- the warranty period for any repaired or replaced product shall be limited to the unexpired portion of the original period.

This warranty does not apply to any equipment which has not been installed and used within the specifications recommended by SENSIRION for the intended and proper use of the equipment. EXCEPT FOR THE WARRANTIES EXPRESSLY SET FORTH HEREIN, SENSIRION MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THE PRODUCT. ANY AND ALL WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE EXPRESSLY EXCLUDED AND DECLINED.

SENSIRION is only liable for defects of this product arising under the conditions of operation provided for in the data sheet and proper use of the goods. SENSIRION explicitly disclaims all warranties, express or implied, for any period during which the goods are operated or stored not in accordance with the technical specifications.

SENSIRION does not assume any liability arising out of any application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters, including without limitation recommended parameters, must be validated for each customer's applications by customer's technical experts. Recommended parameters can and do vary in different applications.

SENSIRION reserves the right, without further notice, (i) to change the product specifications and/or the information in this document and (ii) to improve reliability, functions and design of this product.

Copyright © 2011, SENSIRION.
 CMOSens® is a trademark of Sensirion
 All rights reserved

Headquarters and Subsidiaries

SENSIRION AG
 Laubisruestr. 50
 CH-8712 Staefa ZH
 Switzerland

phone: +41 44 306 40 00
 fax: +41 44 306 40 30
info@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion AG (Germany)
 phone: +41 44 927 11 66
info@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion Inc., USA
 phone: +1 805 409 4900
info_us@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion Japan Co. Ltd.
 phone: +81 3 3444 4940
info@sensirion.co.jp
www.sensirion.co.jp

Sensirion Korea Co. Ltd.
 phone: +82 31 345 0031 3
info@sensirion.co.kr
www.sensirion.co.kr

Sensirion China Co. Ltd.
 phone: +86 755 8252 1501
info@sensirion.com.cn
www.sensirion.com.cn

To find your local representative, please visit www.sensirion.com/contact