

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์
THERMOELECTRIC GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๖

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

THERMOELECTRIC GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMOELECTRIC GENERATOR



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

THERMOELECTRIC GENERATOR

ผู้จัดทำ

นางสาวอุษณา อ่อนจันทร์

52011470





.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์songเมือง นันทขำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

โดย

นางสาวอุษณา อ่อนจันทร์ 52011470

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอคุณสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 และรุ่น TEC-12710 เมื่ออุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์มีความแตกต่างกัน ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าได้ โดยเลือกวิธีสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน ด้วยการให้อุณหภูมิหรือเปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ที่ด้านล่างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ใช้ฮีตซิงก์ระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิด้านบนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ การทดลองนี้ใช้ไอซี MCP9700 กับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดในการวัดอุณหภูมิ และใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ได้ต่อเข้ากับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12010

THERMOELECTRIC GENERATOR

By

Miss Oosana Onjan 52011470

Advisor

Mr. Songmuang Nundrakwang

Academic Year 2012

ABSTRACT

This thesis presents a property of thermoelectric generator module TEC-12706 and module TEC-12710 by give heat energy form steam and flame at side bottom of thermoelectric generator and drain heat energy on top of thermoelectric generator by heat sink. Contrast voltage and use oscilloscope measure the voltage and use temperature infrared and IC MCP9700 measure temperature. The voltage form thermoelectric pass step-up DC-DC boost convertor circuit for applied. And observe electric power form thermoelectric generator module TEC-12710

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์และโครงการสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ทางผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้โอกาสในการคิดและตัดสินใจ ให้
คำแนะนำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์มาโดยตลอด และต้องขอบคุณเพื่อนร่วม
ห้องปฏิบัติการทำโครงการที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำโครงการต้องขอกราบขอบพระคุณยาย กับคุณตา ผู้ที่มีพระคุณสูงสุดที่เป็นผู้ที่
ให้โอกาสในการศึกษา ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



ผู้จัดทำ

นางสาวอุษณา อ่อนจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Thermoelectric Generator)	3
2.1.1 ความหมาย	3
2.1.2 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	4
2.1.2.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)	4
2.1.2.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)	6
2.1.2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)	8
2.1.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	9
2.2 ฮีตซิงก์ (Heat Sink)	15
2.1.1 ประเภทฮีตซิงก์	15
2.1.1.1 ฮีตซิงก์อะลูมิเนียม	15
2.1.1.2 ฮีตซิงก์ทองแดง	15
2.1.1.3 ฮีตซิงก์ทองแดงผสมอะลูมิเนียม	16
2.1.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของอะลูมิเนียม	16
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	18
3.1 รุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ที่เลือกใช้	18
3.2 แหล่งพลังงานความร้อน	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 ความร้อนจากไอน้ำ	19
3.2.1 ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์	20
3.3 วงจรบวสคอนเวอร์เตอร์	21
3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ	21
3.4.1 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	21
3.4.2 ใช้ไอซี MCP9700 วัดอุณหภูมิ	22
3.5 ออกแบบชิ้นงานจริง	23
บทที่ 4 ทดลองและผลการทดลอง	25
4.1 ทดลองใช้ความร้อนจากไอน้ำ	25
4.2 ทดลองใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์	28
4.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710	33
4.3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710	33
4.3.2 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวงจบบวสคอนเวอร์เตอร์ DC-DC	35
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	40
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	44

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ปรัชญาการณชีเบค	5
2.2 ปรัชญาการณเพลเทียร์ (peltier effect)	6
2.3 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ	7
2.4 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก	8
2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรัชญาการณทอมสัน	8
2.6 โครงสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	10
2.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	11
2.8 เทอร์โมคัปเปิลในโหมดจ่ายพลังงาน	11
2.9 การต่อโหลดเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	12
2.10 ฮีตซิงก์อะลูมิเนียมที่เลือกใช้	17
3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รุ่น TEC-12706	18
3.2 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รุ่น TEC-12710	18
3.3 ชิ้นงานสำหรับใช้ความร้อนจากไอน้ำ	19
3.4 ชิ้นงานสำหรับใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์	20
3.5 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ DC-DC	21
3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	22
3.7 ไอซี MCP9700	22
3.8 จำลองชิ้นงานจริง	23
3.9 ชิ้นงานจริง	24
4.1 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากความร้อนของไอน้ำกับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	26
4.2 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากความร้อนของไอน้ำ	27
4.3 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706 กับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	29
4.4 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706	30
4.5 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710 กับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	31
4.6 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710	31
4.7 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์เมื่อต่อโหลด	33
4.8 ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์	34
4.9 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรถูกแปลงเมื่อต่อโหลด	35

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์	36
4.11 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์	37
4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์	38



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการรณรงค์เพื่อลดการใช้พลังงานเป็นเรื่องที่ประชาชนให้ความสำคัญอย่างมาก เพราะพลังงานกำลังจะหมดลง หากเราสามารถนำพลังงานที่ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์อยู่แล้ว มาก่อให้เกิดประโยชน์ย่อมเป็นผลดี มีพลังงานมากมายที่เหลือทิ้งไม่ได้ถูกนำมาใช้ พลังงานดังกล่าวมีอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น พลังงานลม พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อน และอีกมากมายที่ไม่ได้กล่าวถึง สำหรับปริญญาโทเล่มนี้ จะกล่าวถึงพลังงานความร้อนเหลือทิ้งที่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Thermoelectric Generator) เราสามารถออกแบบวงจรเพื่อนำพลังงานไฟฟ้านี้ไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์สามารถแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยปริญญาโทเล่มนี้จะเลือกใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำและความร้อนจากเปลวไฟ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้กับความแตกต่างอุณหภูมิด้านบนและล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ เมื่อทราบขนาดของแรงดันไฟฟ้าก็จะสามารถออกแบบวงจรเพื่อนำแรงดันนี้ไปใช้งาน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน หรือเป็นแหล่งจ่ายพลังงานต่อไป

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์สามารถแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยขนาดของพลังงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านบนกับด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ หากเราสามารถทำให้อุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ต่างกันได้ ก็จะสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้เช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญาโท

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Thermoelectric Generator)

- 1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานความร้อนในการสร้างแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งที่แตกต่างกัน เช่น ความร้อนจากไอน้ำ และความร้อนจากเปลวไฟ

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการงาน

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.1.1 หลักการของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Thermoelectric Generator)

1.3.1.2 หลักการของฮีตซิงก์

1.3.2 ออกแบบและทดลอง

1.3.2.1 ออกแบบรูปแบบการทดลอง แบ่งเป็น ความร้อนจากไอน้ำและความร้อนจากเปลวไฟ

1.3.2.2 บันทึกค่าและสรุปผล

1.4 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญานิพนธ์นี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ หลักการ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 หลักการออกแบบการทดลอง

บทที่ 4 การทดลองเก็บค่าที่ได้จากการทดลองแสดงเป็นกราฟ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Thermoelectric Generator)

2.1.1 ความหมาย

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ คือ วัสดุที่แปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า และสามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นความเย็นได้ โดยภายในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ประกอบไปด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N-type) และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-type) เรียงกันเป็นคู่ๆ วางสลับกัน มีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ผลิตได้ เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์นั้น การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า “โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode)” โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและล่าง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า “โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode)” เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

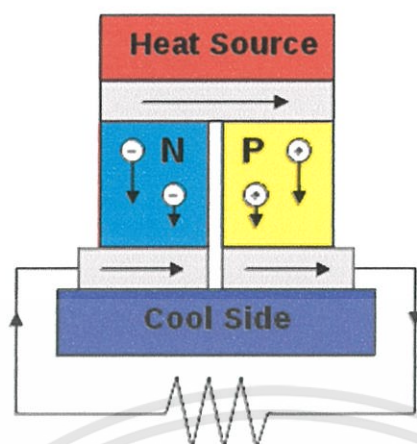
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ คือ ปรากฏการณ์ในการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และ ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) ทั้งสามปรากฏการณ์นี้ คือการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน

2.1.2.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันกล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด” ปรากฏการณ์ซีเบค เป็นการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ ของการบังคับผิวหน้าของอุณหภูมิสม่ำเสมอ ให้ไหลไปตามตัวนำ ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้ผิวหน้าอุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage) [1] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปปรากฏการณ์ซีเบค [2]

สมการของปรากฏการณ์ซีเบค สามารถเขียนในรูปแรงดันไฟฟ้าและความแตกต่างอุณหภูมิได้ดังสมการที่ 2.1 และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสนามไฟฟ้าและผิวหน้าของอุณหภูมิ ($\vec{V}T$)ได้ดังสมการที่ 2.2

$$\Delta V = \alpha \Delta T \quad (2.1)$$

$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \quad (2.2)$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

T คือ อุณหภูมิ (K)

\vec{E} คือ สนามไฟฟ้า (Volt/m)

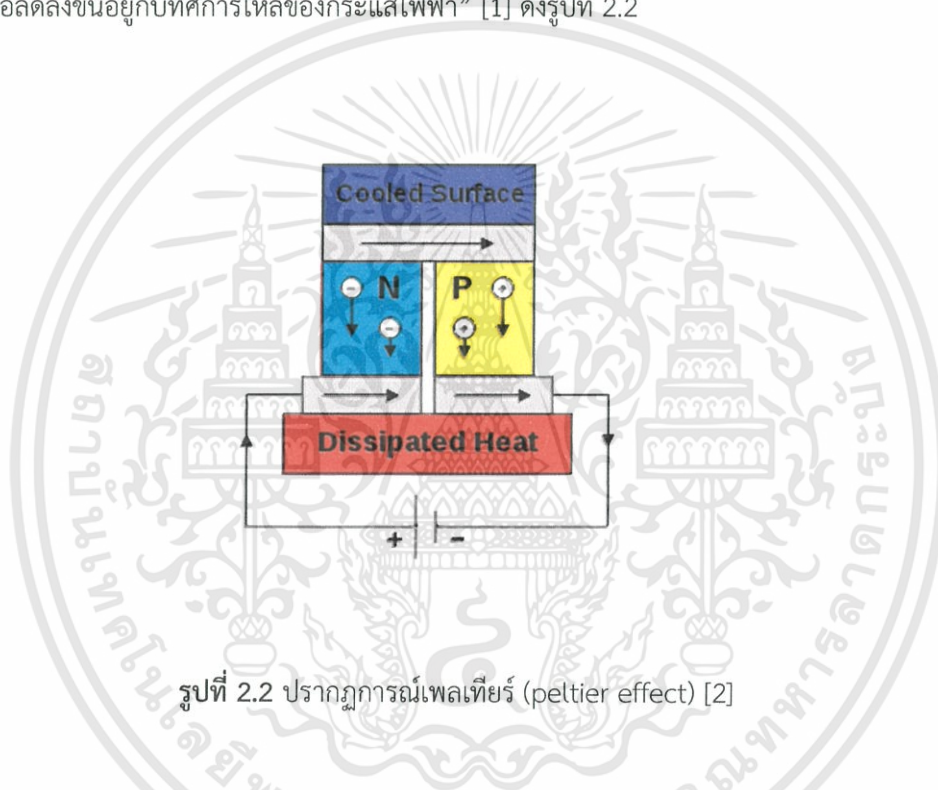
α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Volt/K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกและจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ N-type จะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบ แต่ P-type จะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวก

2.1.2.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลเทียร์ ชาร์เลส อะธานเนส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า” [1] ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (peltier effect) [2]

ปรากฏการณ์เพลเทียร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่ง ซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบคจากการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการแพร่ความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อดังสมการที่ 2.3 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ [3] สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$\Delta Q = \Pi \bar{I} \quad (2.3)$$

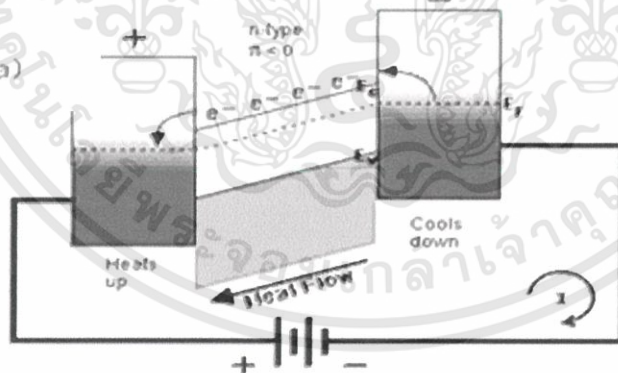
$$\Pi = \alpha T \quad (2.4)$$

โดยที่ ΔQ คือ อัตราของการแพร่ความร้อนแบบกลับ (J)

Π คือ สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ของรอยต่อ

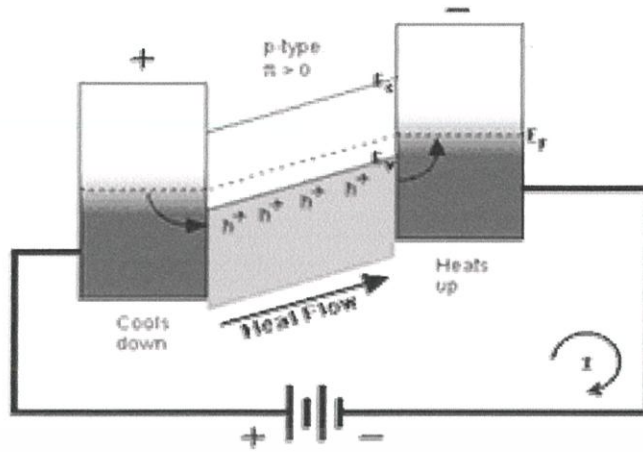
\bar{I} คือ กระแสไฟฟ้า (I)

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ อิเล็กตรอนของอะตอมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากขามาซ้าย การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้ามักตรงกันข้าม กล่าวคือ ความร้อนไหลจากขามาซ้าย และกระแสไฟฟ้าไหลจากซ้ายไปขวา ดังรูปที่ 2.3 และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก หลุมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากซ้ายมาขวา การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้ามักตรงกัน กล่าวคือ ความร้อนและกระแสไฟฟ้าไหลจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกัน [1] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ

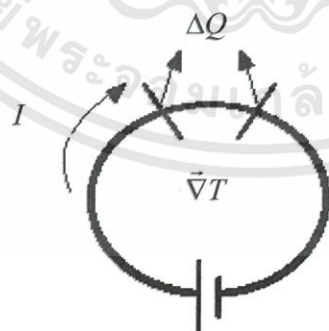
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก

2.1.2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

ในปี 1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือ หลอด เคลวิน (Lord Kelvin) นักฟิสิกส์ชาวสก็อตกล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้า จากจุดเย็นไปจุดร้อน หรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น” ปรากฏการณ์ทอมสัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ของความร้อนแบบกลับได้ ΔQ ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไฟฟ้าตามตัวนำ เมื่อมีผิวหน้าของอุณหภูมิ ($\vec{\nabla}T$) ดังรูปที่ 2.5 สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.5 และสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับค่าสัมประสิทธิ์ทอมสัน ได้ดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \beta I (\Delta T) \quad (2.5)$$

$$\beta = T \frac{d\alpha}{dT} \quad (2.6)$$

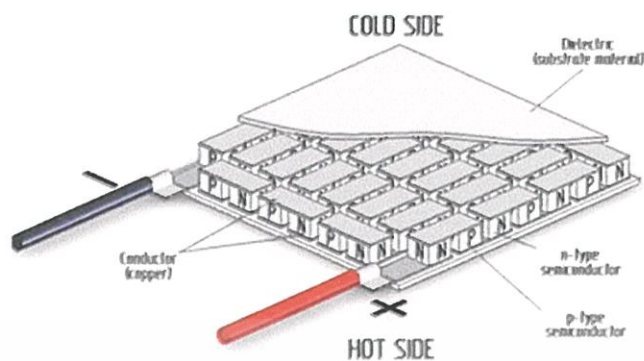
โดยที่ β คือ Thomson coefficient (Volt/K)

α คือ Seebeck coefficient (Volt/K)

T คือ อุณหภูมิ (K)

2.1.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

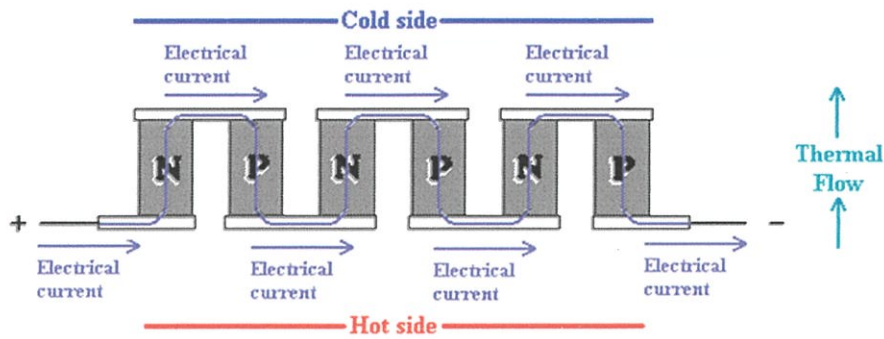
การประกอบ “วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก” ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้ เรียกว่า “เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module)” เริ่มต้นจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N type) และชนิดพี (P type) ชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิค ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ผลิตได้ เกิดจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเซรามิคด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ และขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์นั้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ [4]

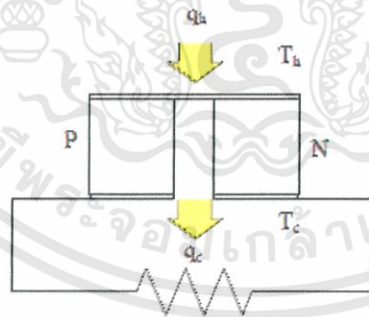
การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า “โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode)” โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและด้านล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล เนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลจะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จึงไหลตามกันไปทิศเดียวกัน

ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ทำให้เกิดความร้อนและความเย็นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า “โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode)” เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมาก ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง [4] ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ [5]

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบ จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ มีส่วนประกอบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีความแตกต่างสองชนิดต่อร่วมกันหลายคู่ (สารกึ่งตัวนำ P และสารกึ่งตัวนำ N) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาหลักการดังกล่าวแล้ว โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จะมีโครงสร้างเหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ดังรูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลที่ทำหน้าที่กำเนิดกระแสไฟฟ้า เมื่อมีการนำวัสดุที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อและอนุกรมอยู่กับโหลด



รูปที่ 2.8 เทอร์โมคัปเปิลในโหมดจ่ายพลังงาน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระดับความร้อน q_h นำความร้อนผ่านเทอร์โมคัปเปิ้ลจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการสร้างกระแสไฟฟ้า (I) ในวงจร ผลของการแปลงพลังงานนี้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุ เมื่อ q_c เป็นปริมาณความร้อนที่ไม่ถูกแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า T_h และ T_c เป็นอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลด้านร้อนกับด้านเย็น R_L เป็นภาระทางไฟฟ้าในวงจร สามารถหาความสัมพันธ์ของ q_h และ q_c ได้จากสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8

$$q_h = NI\alpha T_h + (T_h - T_c)/\theta_{TEG} - NI^2 R/2 \quad (2.7)$$

$$q_c = NI\alpha T_c + (T_h - T_c)/\theta_{TEG} - NI^2 R/2 \quad (2.8)$$

โดยที่ N คือ จำนวนเทอร์โมคัปเปิ้ล

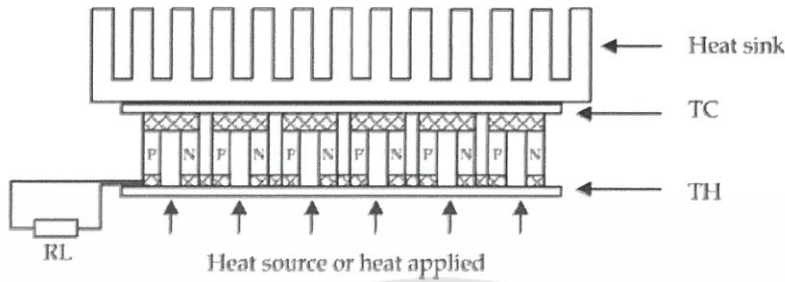
α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค

θ_{TEG} คือ ความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

R คือ ความต้านทานทางไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล

จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 มีความสำคัญที่จะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ของผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ เมื่อพิจารณาสมการในส่วนแรกจะเป็นพลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ เช่น $NI\alpha T_h$ และ $NI\alpha T_c$ ดังแสดงในสมการ ส่วนที่ 2 $(T_h - T_c)/\theta_{TEG}$ แสดงการนำความร้อนเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิที่ฝั่งตรงข้ามจุดเชื่อมต่อ เช่น $T_h - T_c$ ส่วนที่สาม $NI^2 R/2$ แสดงปรากฏการณ์ Joule Heating ดังนั้นหากจะพิจารณากระแสที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ในวงจรสามารถหาได้จากสมการที่ 2.9

$$I = \frac{N\alpha(T_h - T_c)}{NR + R_L} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.9 การต่อโหลดเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก [7]

สมการที่ 2.9 ในส่วนบนเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ฝั่งตรงข้ามจุดเชื่อมต่อเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ และส่วนล่างเป็นผลรวมความต้านทานทางไฟฟ้าของระบบก่าเนด ซึ่งส่วนล่างนั้นแสดงผลรวมความต้านทาน ประเมินโดยการเพิ่มความต้านทานทางไฟฟ้าสุทธิของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ เป็นต้น เช่น NR , R_L และจากสมการที่ 2.9 R สามารถหาได้จากสมการที่ 2.10 สามารถหาค่า R_c ได้จากสมการที่ 2.11 หาค่าความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกได้จากสมการที่ 2.12 จากรูปที่ 2.9 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตได้จาก สมการที่ 2.13

$$R = \frac{2\rho H}{A_p} + R_c \quad (2.10)$$

$$R_c = \frac{4R_{c-p}}{A_p} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_{TEG} = \frac{H}{2N.kA_p} \quad (2.12)$$

$$P_L = I^2 R_L \quad (2.13)$$

โดยที่ ρ คือ ความต้านทานของจุดเชื่อมต่อ

H คือ ความสูงจุดเชื่อมต่อ

A_p คือ พื้นที่ตัดขวางของจุดเชื่อมต่อ

R_c, R_{c-p} คือ ค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล

θ_{TEG} คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

k คือ ค่าการนำความร้อนของจุดเชื่อมต่อพลังงานที่กำหนด

P_L คือ กำลังเอาต์พุต

ต่อไปจะเป็นการกล่าวถึง ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งแสดงด้วยค่า ZT หรือ Figure of Merit โดยวัสดุที่มีค่า ZT สูง หรือมีประสิทธิภาพสูงนั้นต้องมีสมบัติ 3 ประการ คือ ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง นั่นคือ พลังงานความร้อนของวัสดุนั้นต้องถูกขนย้ายด้วยประจุไฟฟ้าให้มากที่สุด วัสดุนั้นต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ มิเช่นนั้นพลังงานกระแสไฟฟ้าจะสูญเสียและเปลี่ยนกลับเป็นความร้อน และวัสดุนั้นต้องเป็นสื่อนำความร้อนที่ไม่ดี

การวิจัยในปัจจุบันเน้นไปที่การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบค (α) และลดค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, λ) และ ค่าสภาพต้านทาน (resistivity, ρ) ลงเพื่อเพิ่มค่า Figure of Merit ให้สูงขึ้น เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ Figure of Merit (Z) สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ 2.14 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho\lambda} \quad (2.14)$$

2.2 ฮีตซิงก์ (Heat Sink)

ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ฮีตซิงก์เป็นส่วนประกอบเพิ่มความเย็นตัวอุปกรณ์ โดยให้ความร้อนสลายไปในอากาศโดยรอบ ฮีตซิงก์ใช้เพื่อเพิ่มความเย็นแก่ระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อระงับความร้อนของซีพียูและอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เลเซอร์ที่สูงกว่าพลังงาน และได้โอเดเปล่งแสง ฮีตซิงก์เป็นตัวถ่ายเทความร้อนเสมือนกับตัวที่เพิ่มความเย็นในตัวเช่นตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศหรือหม้อน้ำในรถยนต์ ปัจจุบันมี 3 ประเภทคือ อะลูมิเนียม ทองแดง ทองแดงผสมกับอะลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

2.1.1 ประเภทของฮีตซิงก์

2.1.1.1 ฮีตซิงก์อะลูมิเนียม

โดยคุณสมบัติของอะลูมิเนียมจะนำความร้อนได้ไม่ดีเท่าทองแดง แต่มีน้ำหนักเบา มีราคาถูกลงและขั้นตอนการผลิตง่ายกว่าจึงทำให้เป็นที่นิยมมากกว่าฮีตซิงก์ทองแดง

2.1.1.2 ฮีตซิงก์ทองแดง

ทองแดงมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม แต่ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก การประกอบหรือต้องใช้การเชื่อม มีน้ำหนักมากและราคาแพงจึงทำให้เป็นที่นิยมเฉพาะกลุ่มบุคคลที่ชื่นชอบการโอเวอร์คล็อก ซึ่งก่อให้เกิดความร้อนมากผิดปกติและต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว ซึ่งฮีตซิงก์ทองแดงทำหน้าที่ได้ดีกว่า

2.1.1.3 ฮีตซิงก์ทองแดงผสมอะลูมิเนียม

โครงสร้างส่วนใหญ่ มักจะมีแกนกลางที่สัมผัสผิวหน้าของซีพียูทำจากทองแดงและครีบทาจากอะลูมิเนียม ซึ่งผิวสัมผัสระหว่างทองแดงและอะลูมิเนียมจะมีสารช่วยนำความร้อนอยู่เพื่อให้ผิวสัมผัสแนบสนิทและถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าแบบอะลูมิเนียมทั้งชิ้น ราคาประหยัดและมีน้ำหนักเบากว่าทองแดงทั้งชิ้น [9]

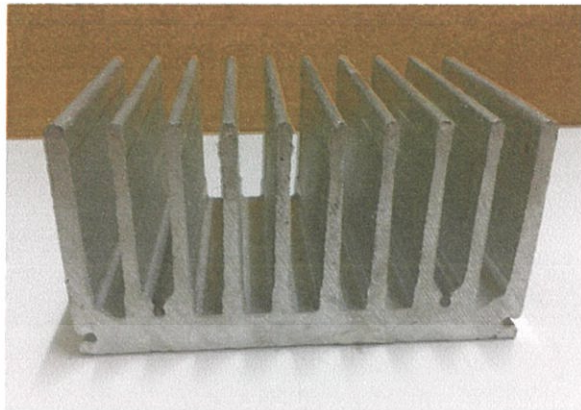
2.1.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของอะลูมิเนียม

การนำความร้อน (heat conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเป็นกระบวนการชีววิทยา ที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน

ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ คล้ายการนำไฟฟ้าในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ เป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะท้อนระหว่างโมเลกุล หรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อน ผ่านโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) [10]

สำหรับอะลูมิเนียมนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 237 w/mK ส่วนทองแดงนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 401 w/mK ซึ่งมากกว่าอะลูมิเนียมเกือบสองเท่า อย่างไรก็ตาม ราคาฮีตซิงค์อะลูมิเนียม นั้น มีราคาถูกกว่ามาก และมีน้ำหนักน้อยกว่ามาก

จากคุณสมบัติของฮีตซิงค์ข้างต้น โครงการนี้จึงเลือกใช้ฮีตซิงค์ประเภทที่ทำจากอะลูมิเนียมในการระบายความร้อน เพื่อสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ฮีตซิงก์อะลูมิเนียมที่เลือกใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

3.1 รุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ที่เลือกใช้

ในโครงการนี้ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รุ่น TEC1-12706 พิกัด 12 โวลต์ (ค่าสูงสุด 14.4 โวลต์/6.4 แอมแปร์) Q_{max} (Cooling Power) 50 วัตต์ ดังรูปที่ 3.1 และ TEC1-12710 พิกัด 12 โวลต์ (ค่าสูงสุด 15.2 โวลต์/10.2 แอมแปร์) Q_{max} (Cooling Power) 85 วัตต์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รุ่น TEC-12706 [11]

รูปที่ 3.2 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รุ่น TEC-12710

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แหล่งพลังงานความร้อน

3.2.1 ความร้อนจากไอน้ำ

สำหรับความร้อนจากไอน้ำ โครงการนี้ใช้น้ำอุณหภูมิประมาณ 75 ถึง 80 องศาเซลเซียสในการให้ไอร้อน ออกแบบการทดลองโดยใช้แก้วน้ำพลาสติกทนความร้อน 100 องศาเซลเซียส บรรจุน้ำได้ 650 ซีซีภายในมีน้ำอุณหภูมิประมาณ 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส ด้านบนวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์บนฝาของแก้วน้ำ ใช้ฮีตซิงค์ในการสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งรูปที่ 3.3

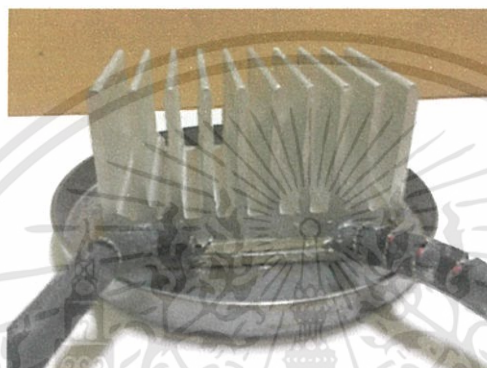


รูปที่ 3.3 ชิ้นงานสำหรับใช้ความร้อนจากไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์

เนื่องจากอะลูมิเนียมมีค่าการนำความร้อนมาก จึงออกแบบให้แผ่นอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 50 ยาว 60 มม 3 มิลลิเมตร อยู่ด้านล่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำความร้อนสู่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ด้านบนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีฮีตซิงก์ระบายความร้อนสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน เชื่อมแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นอะลูมิเนียมกับฮีตซิงก์ด้วยซิลิโคนระบายความร้อน ดังรูปที่ 3.4

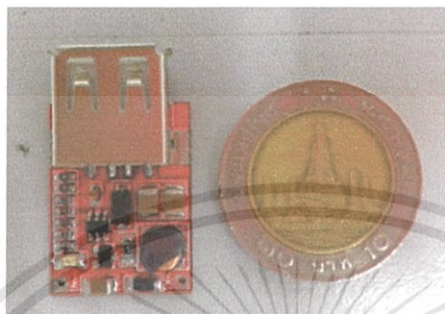


รูปที่ 3.4 ชิ้นงานสำหรับใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

เลือกใช้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ DC – DC ดังรูปที่ 3.5 โดยรับแรงดันอินพุต 1-5 โวลต์ และให้แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์ โดยเอาต์พุตเป็นแบบ USB เพื่อจ่ายต่อการนำไปใช้งานต่อ



รูปที่ 3.5 วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ DC-DC

3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.4.1 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

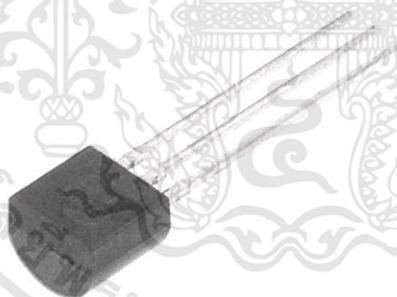
เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 3.6 แสดงผลเป็นองศาเซลเซียสหรือองศาฟาเรนไฮน์ ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส สำหรับโครงการนี้ใช้หน่วยองศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

3.4.2 ใช้ไอซี MCP9700 วัดอุณหภูมิ

ไอซี MCP9700 เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียส จนถึง 125 องศาเซลเซียส จ่ายแรงดันขนาด 2.3 – 5.5 โวลต์ ให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า หน่วยเป็น มิลลิโวลต์ สำหรับไอซี MCP9700 แรงดันขนาด 10 มิลลิโวลต์ มีค่าเท่ากับ 1 องศาเซลเซียส มีค่า Accuracy $\pm 2^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.7 ไอซี MCP9700 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ออกแบบชิ้นงานจริง

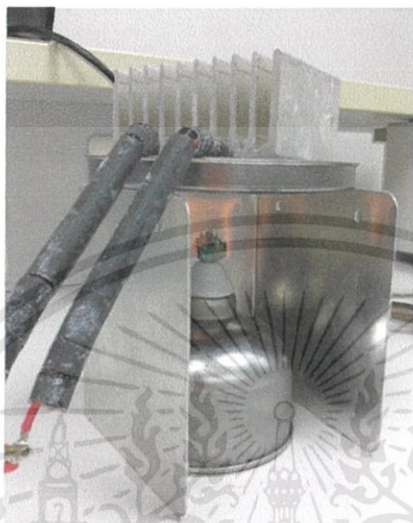
ใช้แผ่นอะลูมิเนียม (4) รองด้านล่างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (2) เป็นตัวนำความร้อน และเพื่อไม่ให้เปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ (3) สัมผัสกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยตรง วางฮีตซิงก์ (1) ด้านบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์สำหรับระบายความร้อนเพื่อสร้างความแตกต่างของ อุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และใช้ซิลิโคนระบายความร้อน เชื่อมระหว่างด้านบน และด้านล่างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นอะลูมิเนียมและฮีตซิงก์ สามารถจำลองภาพออกมาได้ดังรูปที่

3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำวัสดุทั้งหมดมาประกอบเข้าเป็นชิ้นงานจริง ได้ดังรูปที่ 3.9 ประกอบด้วย แผ่นอะลูมิเนียม ขนาดกว้าง 50 ยาว 60 หนา 3 มิลลิเมตร แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ และฮีตซิงก์



รูปที่ 3.9 ชิ้นงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

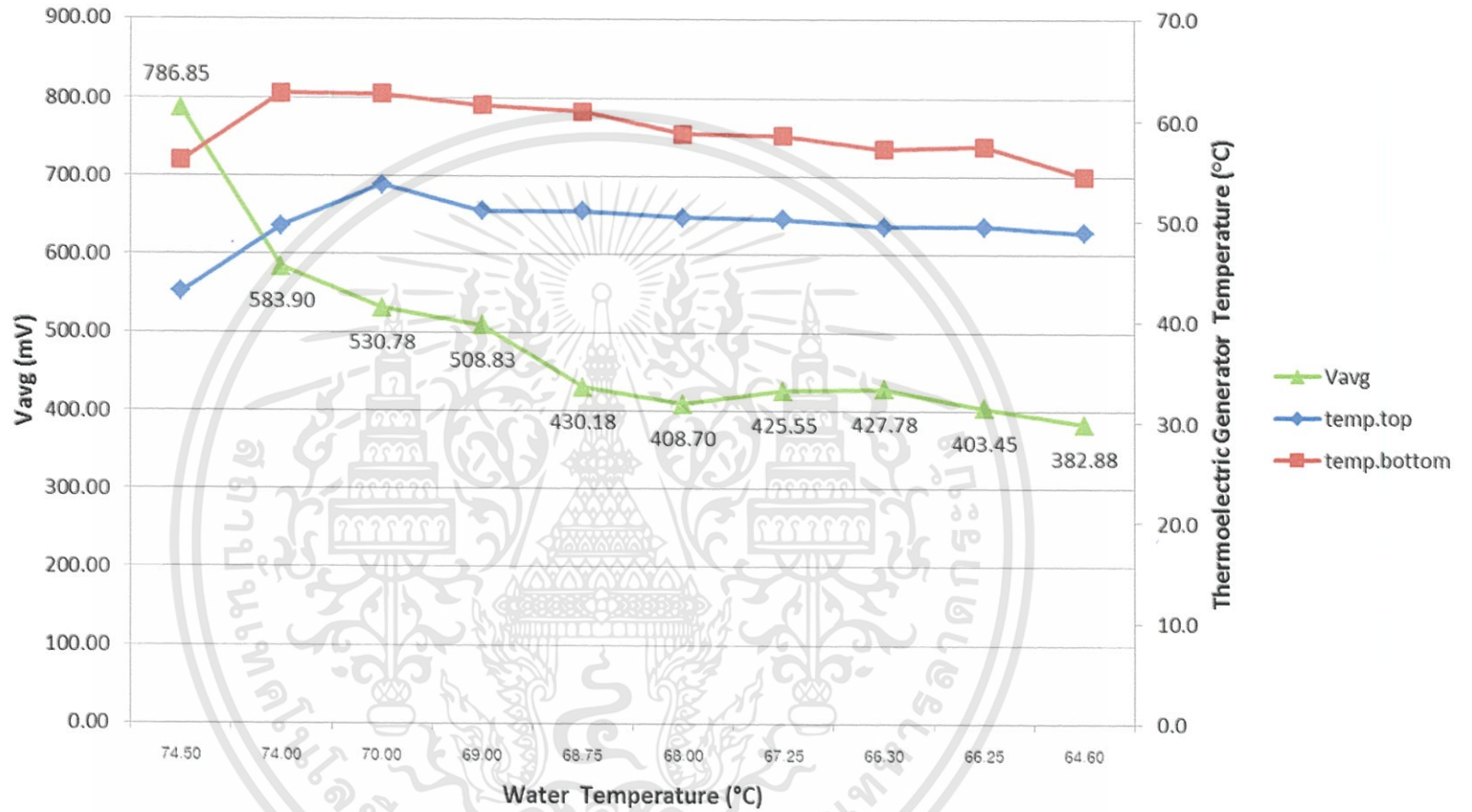
ทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทดลองใช้ความร้อนจากไอน้ำ

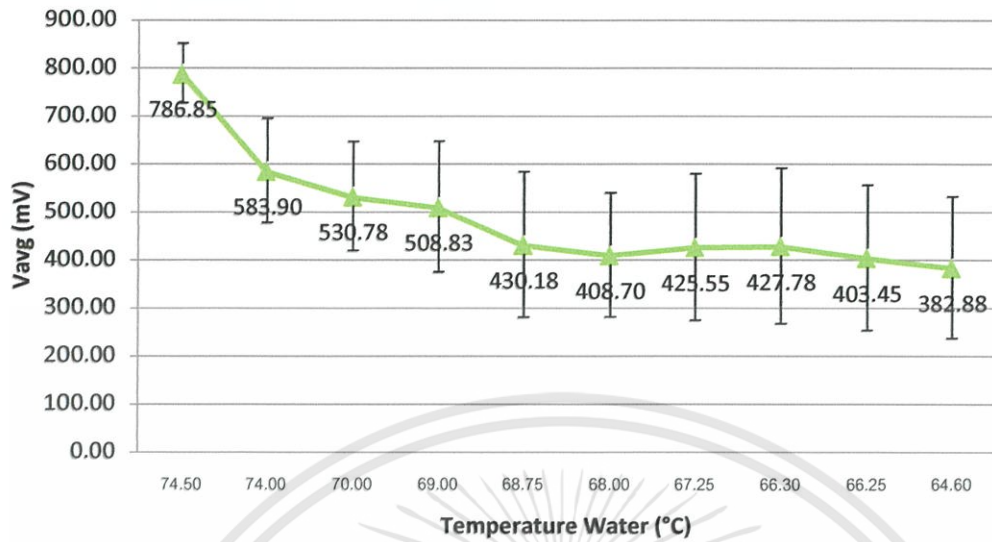
ใช้แก้วสแตนเลสใส่น้ำอุณหภูมิประมาณ 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส วางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เจเนเรเตอร์ด้านบน สำหรับการทดลองนี้ ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706 เนื่องจาก เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่นนี้ สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ แม้อุณหภูมิของด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกันไม่มาก ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดวัดค่าอุณหภูมิ พล็อตกราฟแสดงค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าจากความร้อนของไอน้ำหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ และอุณหภูมิไอน้ำหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 เริ่มวัดค่าจากอุณหภูมิไอน้ำสูง ไปยังอุณหภูมิไอน้ำที่ต่ำลง กล่าวคือ ใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิไอน้ำที่กาดม้ น้ำร้อนไฟฟ้าทั่วไปแสดงไฟสถานะเดือด เทใส่แก้วที่เตรียมไว้ วางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ลงด้านบน และเริ่มวัดค่าแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ฮอสซิลอสโคป และวัดอุณหภูมิของทั้งสองด้านโดยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ผลที่ได้คือ แรงดันไฟฟ้าจะมีค่ามากในช่วงแรก เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ความร้อนสะสมที่ตัวฮีตซิงก์ยังมีน้อย ประกอบกับอุณหภูมิของไอน้ำที่สูง จึงสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาได้มาก ขณะที่เวลาผ่านไป ความร้อนสะสมที่ฮีตซิงก์เริ่มมีมากขึ้น และอุณหภูมิของไอน้ำเริ่มลดลง ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จึงลดลง

สำหรับการทดลองนี้ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 786.85 มิลลิโวลต์ ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกัน 13.1 องศาเซลเซียส และได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 382.88 มิลลิโวลต์ ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกัน 5.6 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากความร้อนของไอน้ำกับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์



รูปที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากความร้อนของไอน้ำ

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองเดียวกันกับรูปที่ 4.1 แต่ต่างตรงที่ กราฟนี้มีการแสดงค่า error bar ของการทดลองนี้ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า มีค่าความผิดพลาดค่อนข้างมากในการสร้างแรงดันไฟฟ้านี้ ปัจจัยขึ้นอยู่กับการระบายความร้อนเพื่อสร้างความแตกต่างของฮีตซิงก์ รวมถึงแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 นั้นสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ง่ายกว่ารุ่น TEC-12710 มีความไวต่อความร้อนมากกว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาจึงมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก

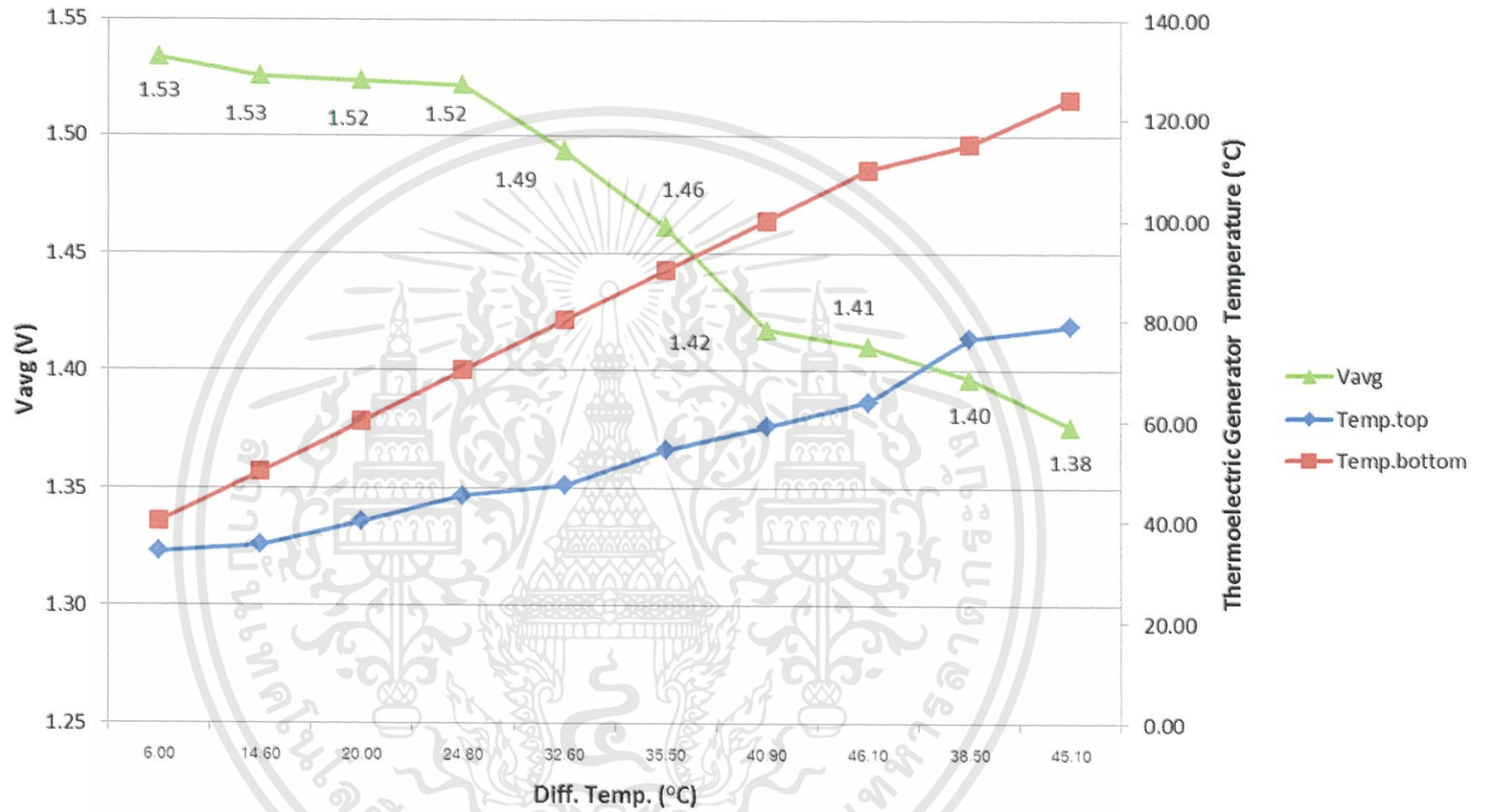
4.2 ทดลองใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์

เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ มี 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น TEC1-12706 รุ่นนี้สามารถให้แรงดันออกมาได้สูง แต่ความทนต่อความร้อนต่ำ ไม่สามารถทนความร้อนเป็นเวลานานๆ ได้ สำหรับรุ่น TEC1-12710 รุ่นนี้สามารถให้แรงดันได้น้อยกว่ารุ่น TEC1-12706 แต่สามารถทนความร้อนได้นานกว่า

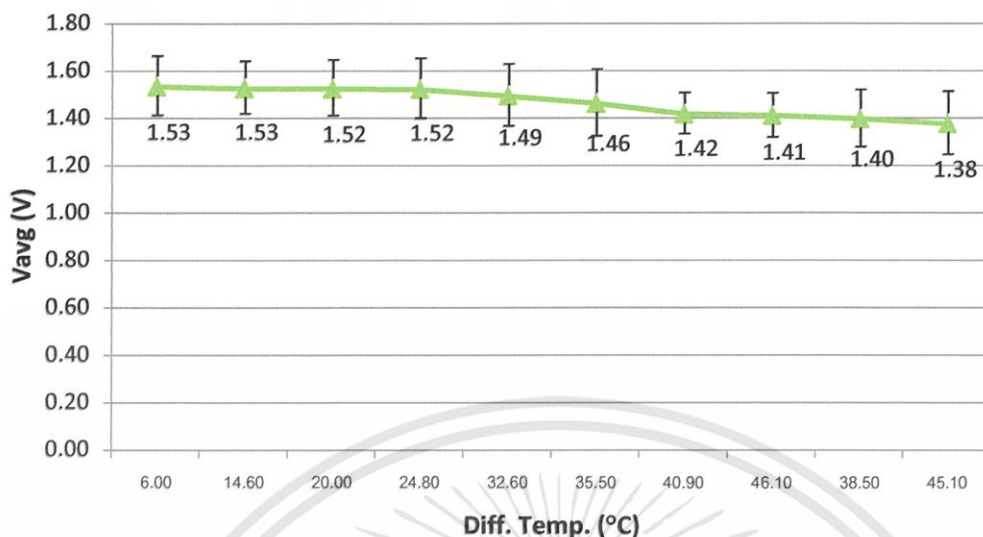
การทดลองนี้ ใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์ให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ โดยวางตะเกียงแอลกอฮอล์ไว้ด้านล่าง และวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์พร้อมฮีตซิงก์ไว้ด้านบน ใช้ออสซิลอสโคปในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และใช้ไอซี MCP9700 ในการวัดค่าอุณหภูมิ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส จากรูปที่

4.3 แสดงแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 สำหรับรุ่นนี้ มีความไวต่อความร้อนมากกว่ารุ่น TEC-12710 จึงสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาได้มากกว่า แต่เนื่องจากมีความไวต่อความร้อนสูง จึงชำรุดได้ง่าย มีความทนต่อความร้อนน้อยกว่ารุ่น TEC-12710

แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 ได้เท่ากับ 1.53 โวลต์ แต่มีความต่างของอุณหภูมิเพียง 6 องศาเซลเซียส ขณะที่ความต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 45.1 องศาเซลเซียส สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้เพียง 1.38 โวลต์ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แหล่งความร้อนที่แตกต่างกันย่อมมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมา สาเหตุเกิดจากเปลวไฟของตะเกียงแอลกอฮอล์มีความร้อนสูง เมื่อสัมผัสกับตรงกลางของแผ่นอะลูมิเนียม แผ่นอะลูมิเนียมจะนำความร้อนอย่างรวดเร็วส่งไปที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ด้านบนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์มีฮีตซิงก์ระบายความร้อนอยู่ จึงทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านบนและล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่ามาก แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิแผ่นอะลูมิเนียมกับฮีตซิงค์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เพราะความร้อนยังแพร่ไปไม่ถึงตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เนื่องจากตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไม่สามารถติดไว้ตรงกลางได้ และในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเริ่มลดลงนั้น เกิดจากการระบายความร้อนของฮีตซิงค์เริ่มช้าลง แต่เปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ยังคงให้ความร้อนเท่าเดิม



รูปที่ 4.3 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกกรุ่น TEC1-12706 กับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

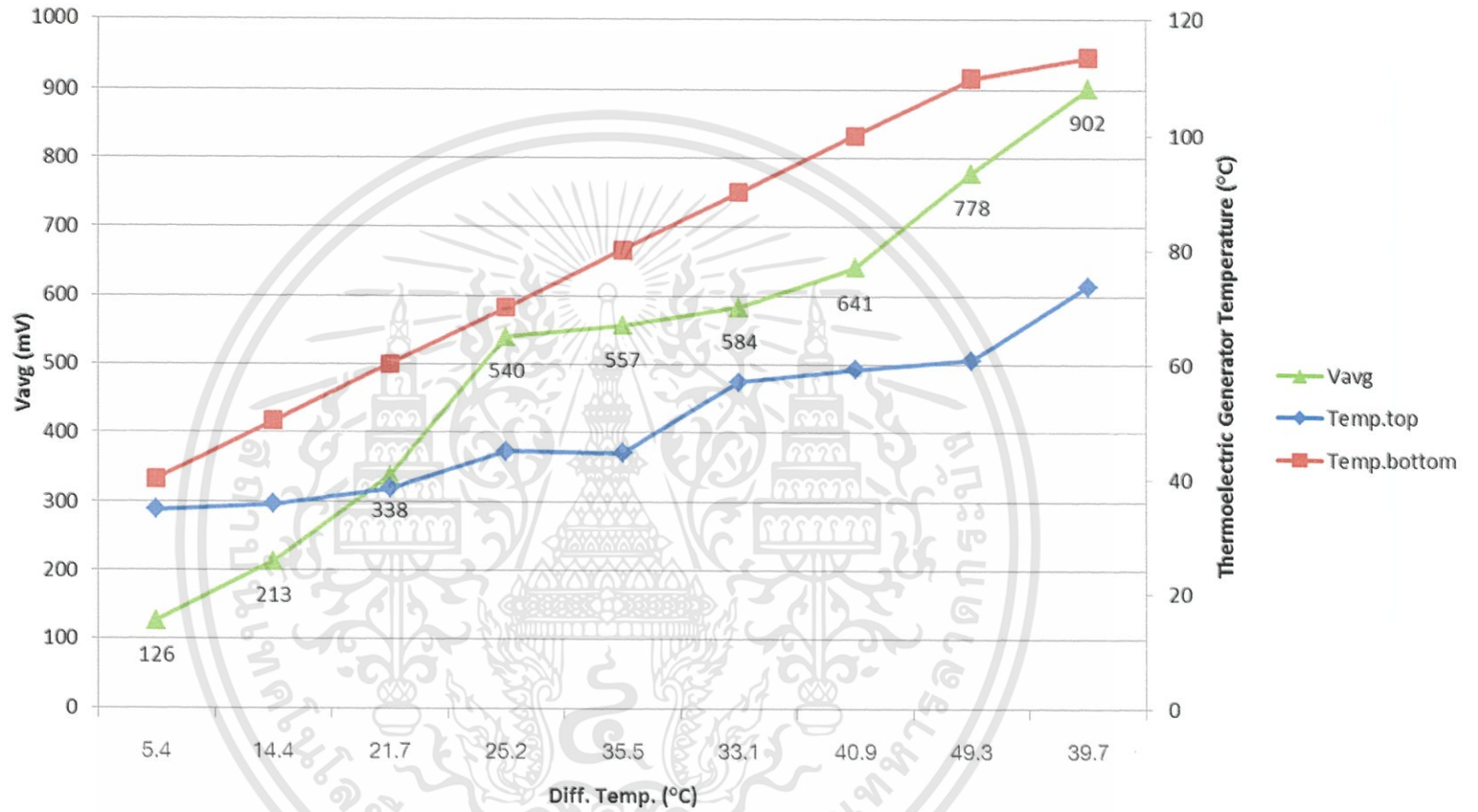


รูปที่ 4.4 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706

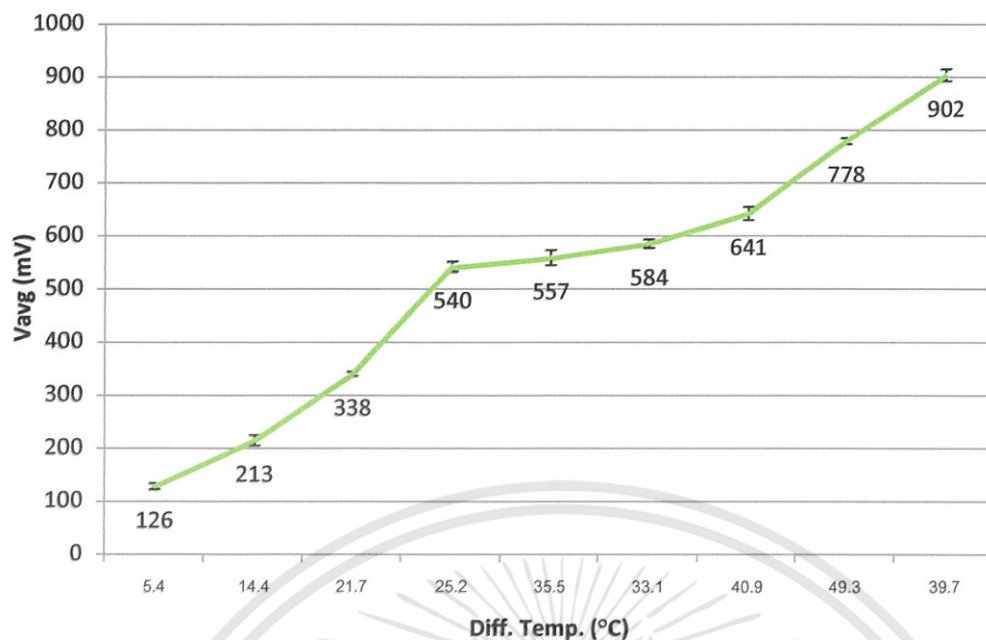
จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเดียวกันกับรูปที่ 4.3 แต่มีการแสดงค่า error bar สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 นั้น จะมีค่าความผิดพลาดมากกว่ารุ่น TEC-12710

ต่อไปเป็นการทดลองโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710 โดยอะลูมิเนียมและฮีตซิงก์ที่ใช้เป็นชุดเดียวกันกับเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC-12706 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 และจากรูปที่ 4.5 นั้นแสดงให้เห็นว่า แรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นมีค่าแตกต่างกับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 อย่างเห็นได้ชัด โดยแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเพียง 902 มิลลิโวลต์ ขณะที่ค่าความต่างอุณหภูมิเท่ากับ 39.7 องศาเซลเซียส และจากกราฟสังเกตได้ว่า จะมี ณ จุดหนึ่ง ที่แม้ค่าความต่างของอุณหภูมิจากมากถึง 49.3 แล้ว แต่ยังคงได้แรงดันไฟฟ้าเพียง 778 มิลลิโวลต์ แสดงว่าย่อมมีปัจจัยอื่นต่อการสร้างแรงดันไฟฟ้า อาทิเช่น อุณหภูมิรอบๆ การกวดแกว่งของเปลวไฟไปมา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710 กับอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์



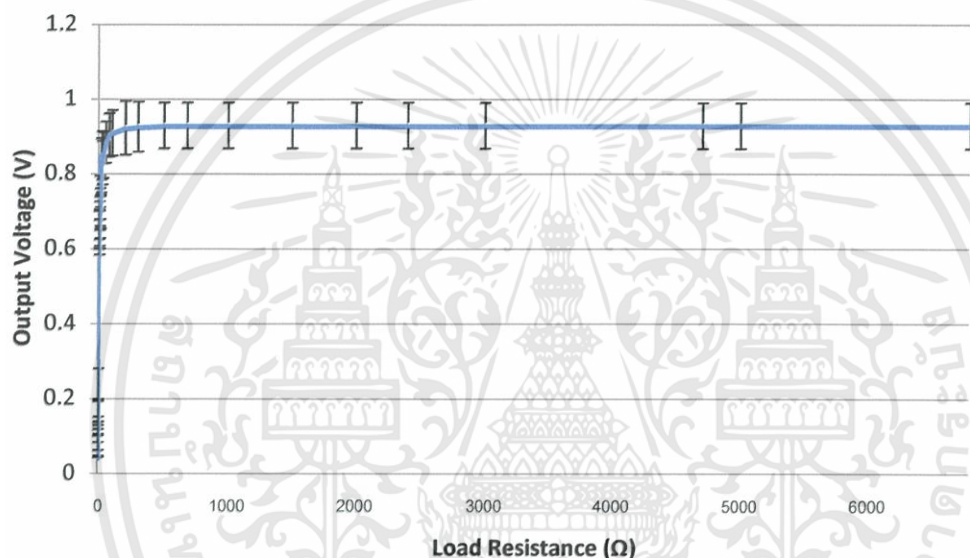
รูปที่ 4.6 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจูน TEC1-12710

จากรูปที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จาก เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710 มี error bar น้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12706 เพราะว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710 มีความไวต่อความร้อนน้อยกว่า แต่สามารถทนความร้อนได้นานกว่า และค่าแรงดันไฟฟ้าจะคงที่ที่ 900 ถึง 1000 มิลลิโวลต์ จึงเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12010 ต่อกับ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์เพื่อนำไปงานต่อในด้านอื่นๆ

4.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710

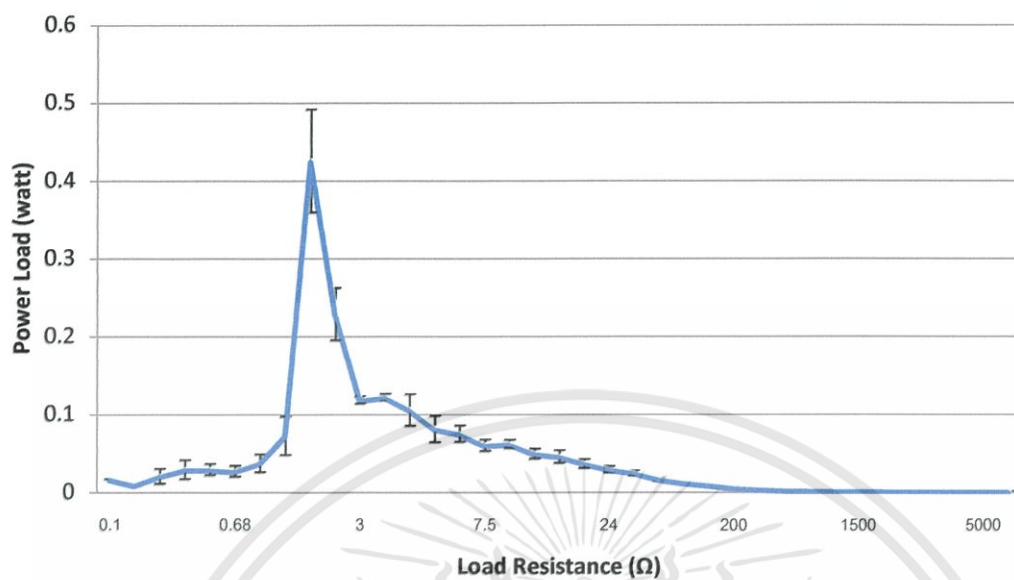
4.3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710

เลือกค่าความต้านทาน 0.1 – 6800 โอห์ม ทดลองโดยให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จนแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ 0.9 ถึง 1 โวลต์ จึงต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับวงจร ผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์เมื่อต่อโหลด

แรงดันไฟฟ้าที่ได้เมื่อต่อตัวต้านทาน สามารถนำพาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.8 โดยค่าพลังงานไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ กระแสที่ได้ยกกำลังสองคูณกับค่าความต้านทาน ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ประมาณ 0.46 วัตต์

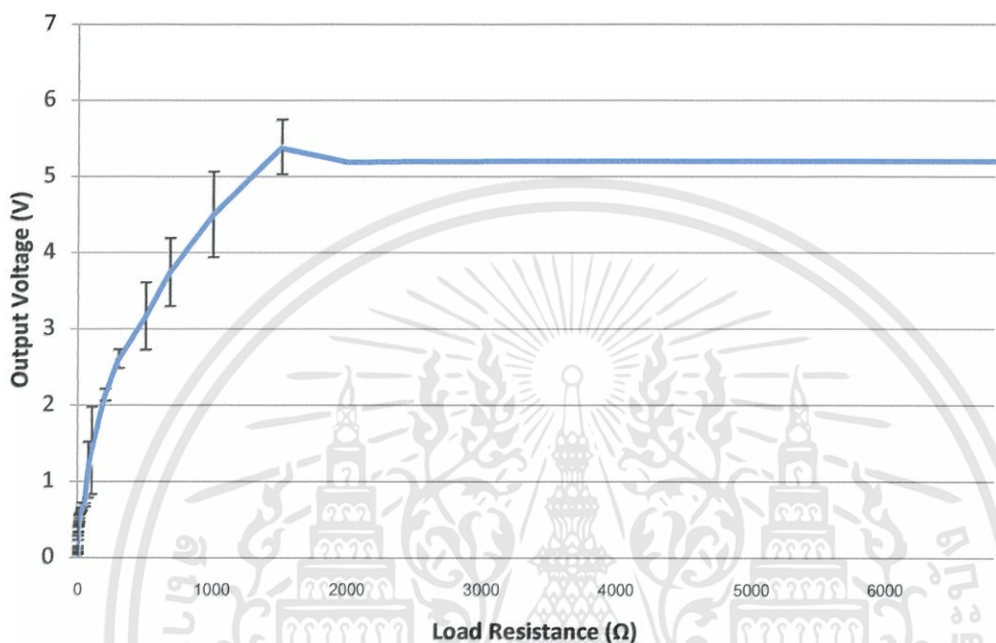


รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

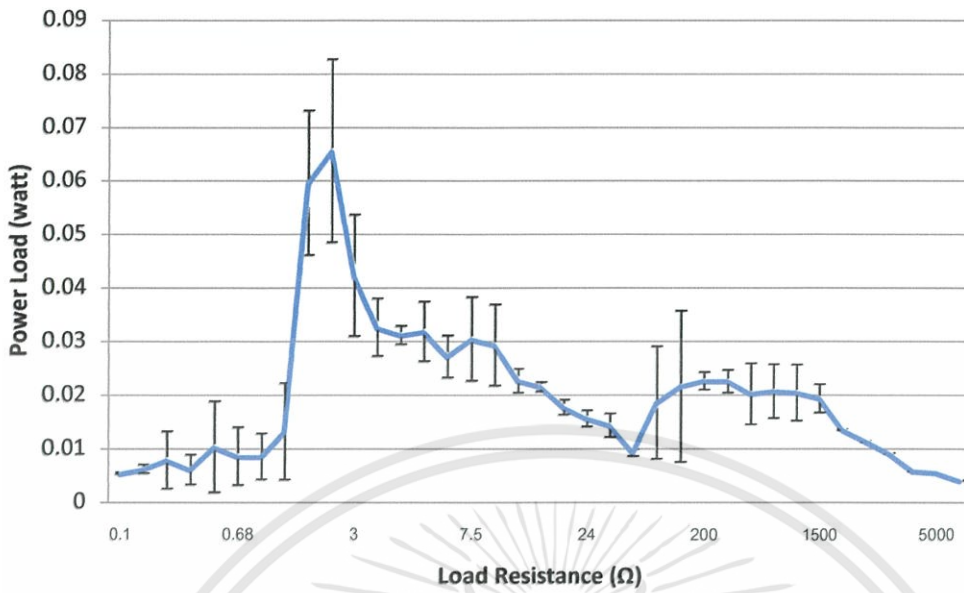
4.3.2 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ DC-DC

เลือกค่าความต้านทาน 0.1 – 6800 โอห์ม ทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาพลังงานที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ คือ ให้ความร้อนแก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์รุ่น TEC-12710 จนแรงดันที่ได้ บวสขึ้นมีค่าประมาณ 5 โวลต์ จึงต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับวงจร ผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์เมื่อต่อโหลด

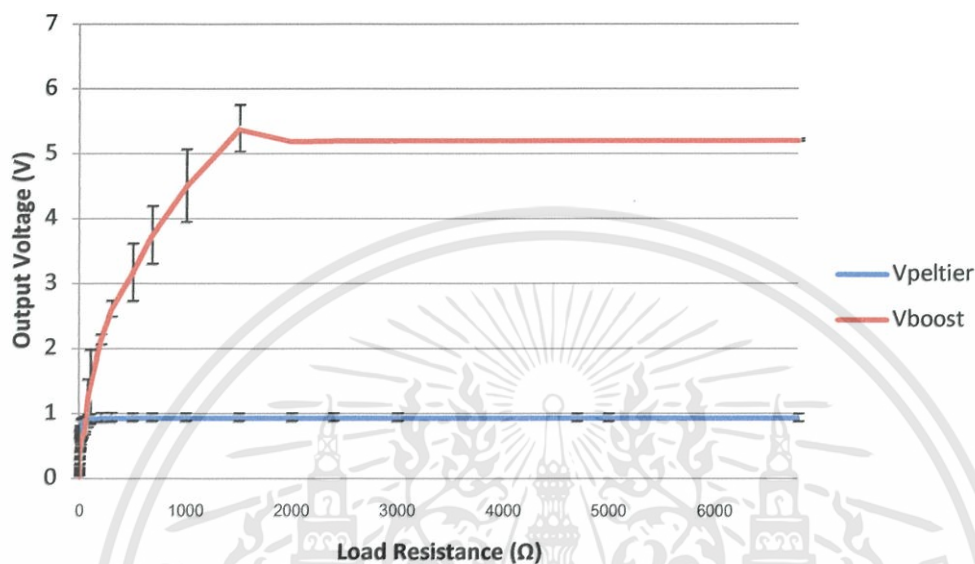
จากรูปที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สามารถนำมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสที่ได้ ยกกำลังสองคูณกับค่าความต้านทาน ได้ดังรูปที่ 4.10 โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มีค่าประมาณ 0.07 วัตต์



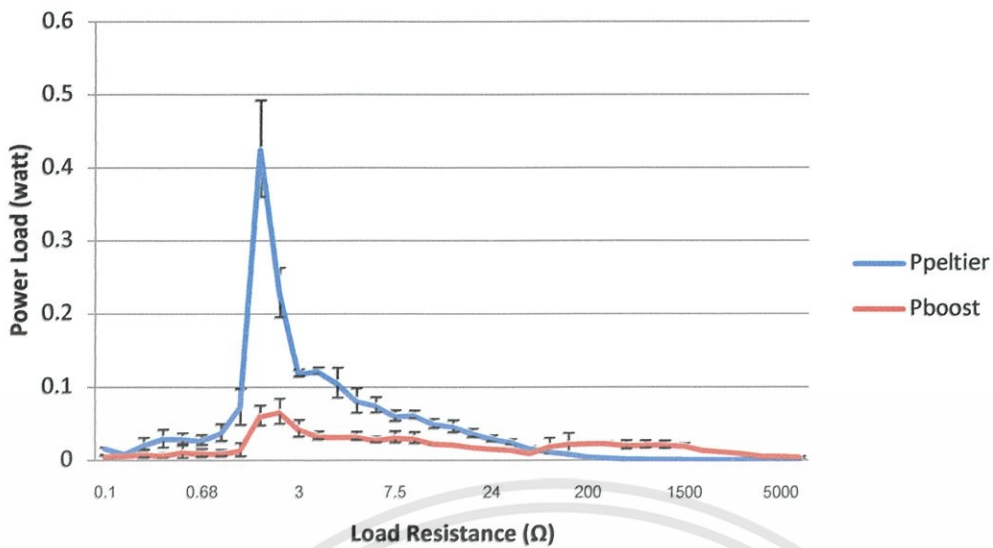
รูปที่ 4.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเปรียบเทียบแรงดันที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Vpeltier) และจาก วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Vboost) ได้ดังรูปที่ 4.11 และสามารถเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ (Ppeltier) และวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Pboost) ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรรบุงคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 4.12 ทำให้สามารถคำนวณค่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเมื่อผ่านวงจรรบุงคอนเวอร์เตอร์ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าจนเหลือเพียง 0.07 วัตต์

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง แรงดันไฟฟ้าที่ได้ขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ตัวระบายความร้อนหรือฮีตซิงก์ และรุ่นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ รวมถึงปัจจัยแวดล้อม เช่น ลม อุณหภูมิขณะทำการทดลอง เป็นต้น

แหล่งพลังงานความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการนี้คือ ตะเกียงแอลกอฮอล์ เพราะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนอุณหภูมิสูง เมื่อให้ความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จะสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาสูงได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกชำรุดได้ง่าย โดยปกติแล้วแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะค่อนข้างเปราะบางหากโดนความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากๆจะชำรุด จึงควรมีตัวระบายความร้อนที่ด้านบนของเทอร์โมอิเล็กทริก นั่นคือ ฮีตซิงก์ โดยเลือกใช้ฮีตซิงก์ที่ทำจากอะลูมิเนียม ครัวบีและสูงเพราะจะสามารถระบายความร้อนได้ดี และสามารถสร้างความแตกต่างอุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ได้มาก รุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เลือกใช้คือรุ่น TEC1-12710 จึงเหมาะสมกับโครงการนี้ เพราะสามารถทนความร้อนได้ยาวนานมากกว่ารุ่น TEC1-12706 สามารถให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยออกมาประมาณ 0.9 โวลต์ ค่าความผิดพลาดน้อยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEC1-12710 มีค่าประมาณ 0.46 วัตต์ เมื่อผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ พลังงานไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.07 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าประมาณ 5 โวลต์

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง คือ แหล่งพลังงานความร้อน ตัวระบายความร้อนเพื่อสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง ของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ และรุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ที่เลือกใช้ เมื่อผ่านวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า แต่ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 5 โวลต์ สามารถนำไปใช้งานต่อได้ง่าย

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขปัญหา

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
- เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์เปราะบาง ชำรุดง่าย	- หาเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์จาก แหล่งที่มีคุณภาพ - ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงจนเกินไป - เลือกรุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ที่ ทนความร้อนได้มากกว่ารุ่นอื่นๆ
- การวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ แบบอินฟราเรดได้ค่าไม่แน่นอน	- ใช้ไอซี MCP9700 สัมผัสกับพื้นผิว โดยตรง
- แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ไม่ค่าไม่ใกล้เคียงกัน	- ทำการทดลองหลายๆครั้งแล้วหาค่า error bar - รอให้อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเน เรเตอร์เป็นอุณหภูมิห้อง พักเป็น ระยะเวลายาวนานกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ค่อนข้างเปราะบาง แตกหักง่าย ทนความร้อนไม่มาก การออกแบบ การทดลองจึงควรออกแบบมาเพื่อช่วยชลอ หรือยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ อาจใช้อะลูมิเนียมที่มีความหนาขึ้นรองด้านล่างเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ ใช้ซิลิโคนทนความร้อนทาบริเวณรอบๆตัวเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ สายไฟต้องมีการหุ้มด้วยฉนวนทนความร้อน ด้านบนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ต้องมีการระบายความร้อนที่ดี ใช้ฮีตซิงก์ที่ครีบลึและสูง ยังสามารถระบายความร้อนได้ดีเท่าใด ยิ่งยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์ได้ยาวนานขึ้น เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เพราะสามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นแรงดันไฟฟ้าได้ แค่เพียงทำให้อุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน ก็สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ามาใช้งานได้ ไม่ใช่เพียงแค่ไฟเท่านั้น อาจใช้เป็นน้ำร้อน กับน้ำเย็น ก็สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยเทอร์โมอิเล็กทริก. “วัสดุพลังงาน เทอร์โมอิเล็กทริก.” [Online]. Available :
<http://pineapple-eyes.snru.ac.th/thermo/index.php?q=node/5>. 2009
- [2] Thaina in Cartoon. “Seebeck & Peltier Effect for Future Energy.” [Online].
 Available : <http://thaina.exteen.com/20090822/seebeck-peltier-effect-for-future-energy-1>. 2009
- [3] D.M. Rowe. “Thermoelectric power generation.” IEEE Proceedings of the
 Institution of Electrical Engineers, vol. 125, no. 11R, pp.1113-1136, 1978
- [4] ทศวัลย์ คัมภีระพันธุ์ และ วรวิทย์ โกสลาทิพย์. “วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก อีกหนึ่งพลังงานทางเลือก
 จี๋วและแจ๋ว.” [Online]. Available : <http://webstaff.kmutt.ac.th/~ivorthip/TE/>.
 2552
- [5] Jacob M., Ty N., Colin N. “The Peltier Effect” [Online]. Available :
www.santarosa.edu/~yataiia/E45/PROJECTS/peltier.ppt. 2005
- [6] ชัยพล เฟ่งพิศ ดนุชา ประเสริฐสม และทวีพล ชี้อสัตย์. 2555. “เซลล์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจาก
 ความร้อนที่เหลือใช้ ที่ได้จากกักตักไอน้ำโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก.” หน้า 374-379 ใน การ
 ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.
- [7] C.A.Gould, N.Y.A. Shammass, S.Grainger, I.Taylor. “Thermoelectric Power Generation:
 Properties, Application and novel TCAD Simulation.” IEEE Proceedings of the
 2011-14th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE
 2011, pp. 1 – 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] Atassi I., Bauer E., Nicolics J., Dange B., Spendlhofer L., Knospe D., Faistauer F.

“Current Thermoelectric Materials and an Evaluation of Thermoelectric Material

Contacting Approaches” IEEE **35th International Spring Seminar on**

Electronics Technology (ISSE), 2012, pp.70-75.

[9] Wikipedia. “ฮีตซิงก์.” [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/>. 2013

[10] Wikipedia. “การนำความร้อน.” [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/>.

2013

[11] Mystore365. “12V 60W TEC1-12706 Thermoelectric Cooler Peltier.” [Online].

Available : [http://www.mystore365.com/12v-60w-tec1-12706-thermoelectric-](http://www.mystore365.com/12v-60w-tec1-12706-thermoelectric-cooler-peltier.html)

[cooler-peltier.html](http://www.mystore365.com/12v-60w-tec1-12706-thermoelectric-cooler-peltier.html). 2013

[12] Flesh and machines. “The Arduino thermal sensor.” [Online]. Available :

[http://fleshandmachines.wordpress.com/2013/01/13/beaglebone-thermal-sensor-](http://fleshandmachines.wordpress.com/2013/01/13/beaglebone-thermal-sensor-from-ros-node/)

[from-ros-node/](http://fleshandmachines.wordpress.com/2013/01/13/beaglebone-thermal-sensor-from-ros-node/). 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

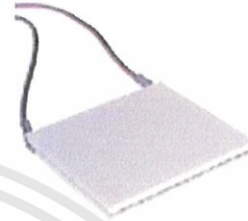


Thermoelectric Cooler

TEC1-12706

Performance Specifications

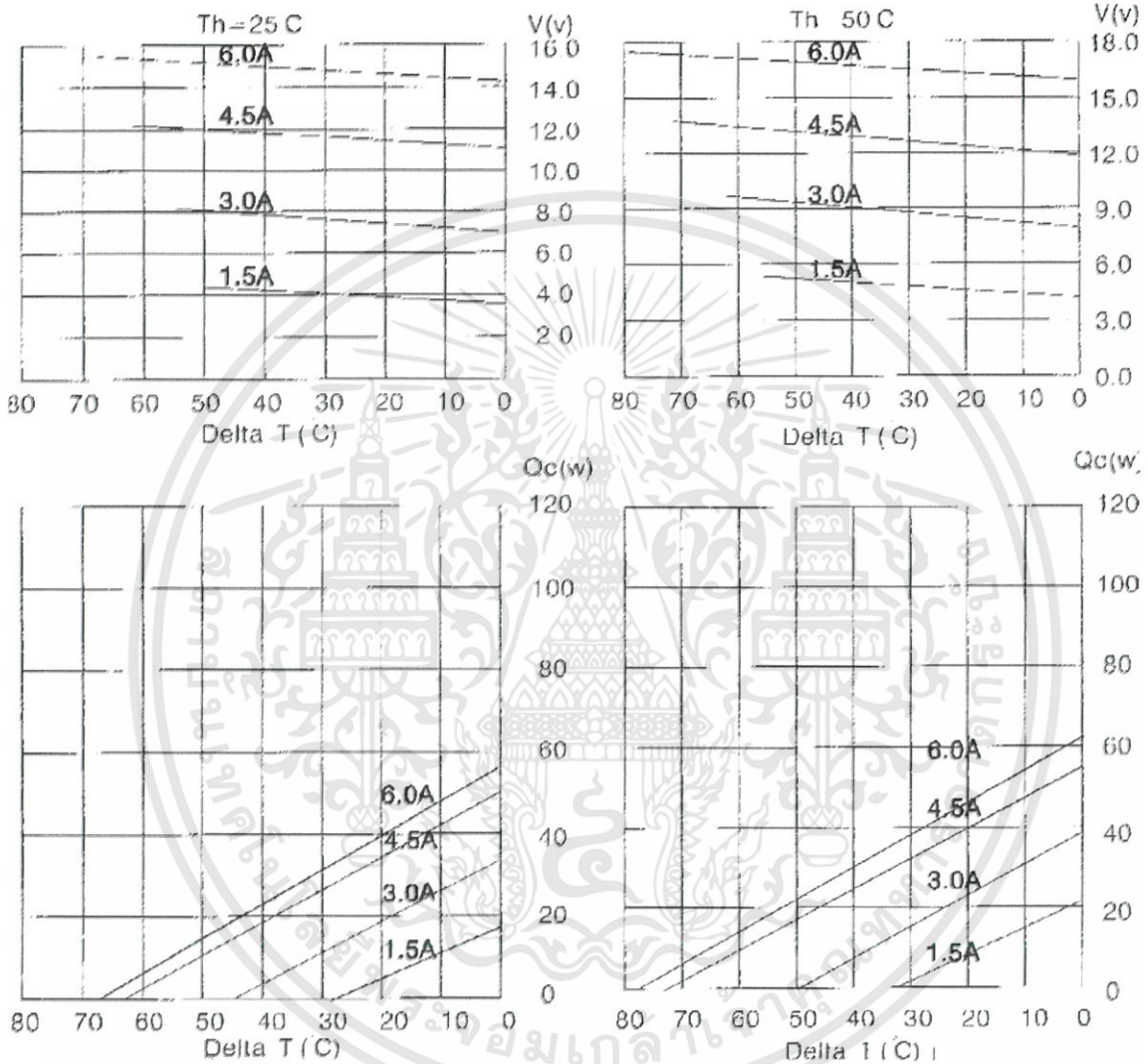
Hot Side Temperature (°C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



Performance curves on page 2



TEC1-12706



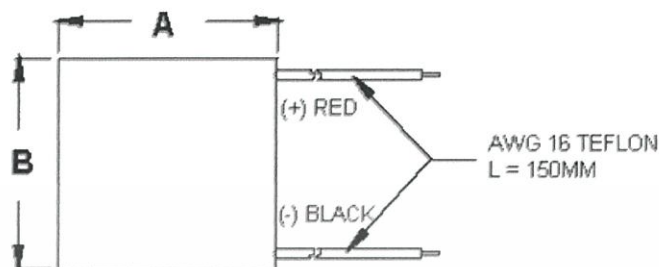
Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEC1-12706



Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.8			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

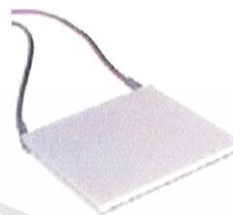


Thermoelectric Cooler

TEC1-12710

Performance Specifications

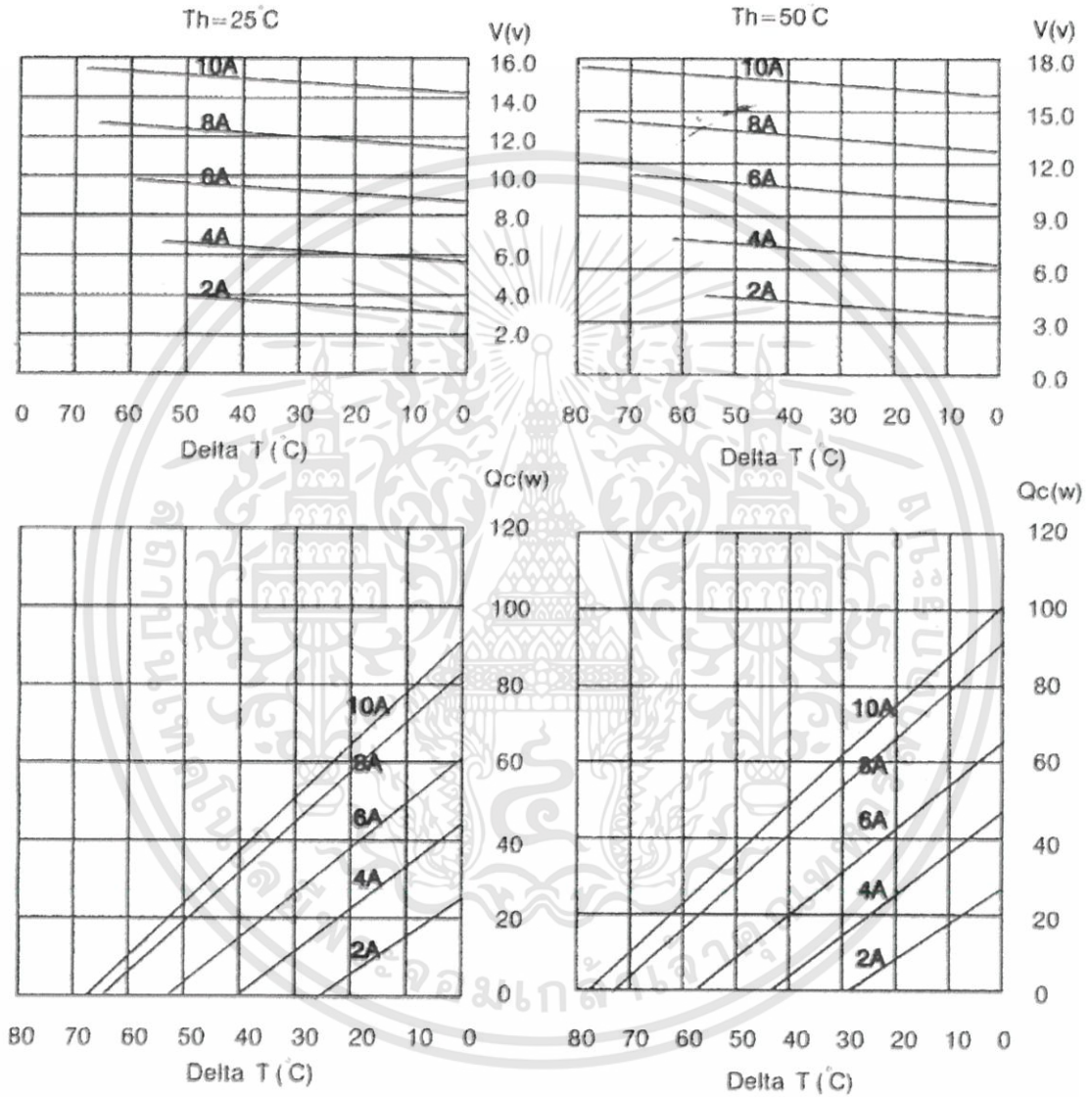
Hot Side Temperature (°C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	85	96
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	10.5	10.5
V _{max} (Volts)	15.2	17.4
Module Resistance (Ohms)	1.08	1.24



Performance curves on page 2



TEC1-12710



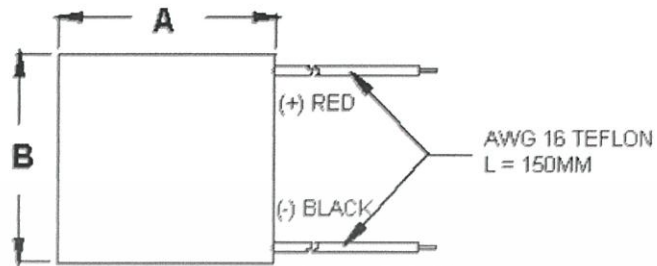
Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEC1-12710



Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.3			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2

Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MCP9700/9700A MCP9701/9701A

Low-Power Linear Active Thermistor™ ICs

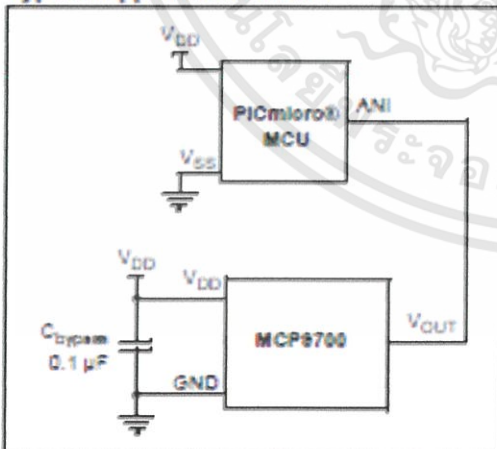
Features

- Tiny Analog Temperature Sensor
- Available Packages: 8C-70-5, TO-92-3
- Wide Temperature Measurement Range:
 - -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Accuracy:
 - $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (max.), 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700A/9701A)
 - $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (max.), 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700/9701)
- Optimized for Analog-to-Digital Converters (ADCs):
 - $10.0\text{ mV}^{\circ}\text{C}$ (typ.) MCP9700/9700A
 - $19.5\text{ mV}^{\circ}\text{C}$ (typ.) MCP9701/9701A
- Wide Operating Voltage Range:
 - $V_{\text{DD}} = 2.3\text{V}$ to 5.5V MCP9700/9700A
 - $V_{\text{DD}} = 3.1\text{V}$ to 5.5V MCP9701/9701A
- Low Operating Current: $6\text{ }\mu\text{A}$ (typ.)
- Optimized to Drive Large Capacitive Loads

Typical Applications

- Hard Disk Drives and Other PC Peripherals
- Entertainment Systems
- Home Appliance
- Office Equipment
- Battery Packs and Portable Equipment
- General Purpose Temperature Monitoring

Typical Application Circuit



Description

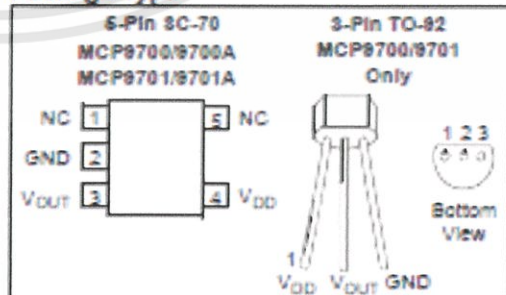
The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family of Linear Active Thermistor™ Integrated Circuit (IC) is an analog temperature sensor that converts temperature to analog voltage. It's a low-cost, low-power sensor with an accuracy of $\pm 2^{\circ}\text{C}$ from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700A/9701A) $\pm 4^{\circ}\text{C}$ from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700/9701) while consuming $6\text{ }\mu\text{A}$ (typ.) of operating current.

Unlike resistive sensors (such as thermistors), the Linear Active Thermistor IC does not require an additional signal-conditioning circuit. Therefore, the biasing circuit development overhead for thermistor solutions can be avoided by implementing this low-cost device. The voltage output pin (V_{OUT}) can be directly connected to the ADC input of a microcontroller. The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A temperature coefficients are scaled to provide a $1^{\circ}\text{C}/\text{bit}$ resolution for an 8-bit ADC with a reference voltage of 2.5V and 5V , respectively.

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A provide a low-cost solution for applications that require measurement of a relative change of temperature. When measuring relative change in temperature from $+25^{\circ}\text{C}$, an accuracy of $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (typ.) can be realized from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$. This accuracy can also be achieved by applying system calibration at $+25^{\circ}\text{C}$.

In addition, this family is immune to the effects of parasitic capacitance and can drive large capacitive loads. This provides Printed Circuit Board (PCB) layout design flexibility by enabling the device to be remotely located from the microcontroller. Adding some capacitance at the output also helps the output transient response by reducing overshoots or undershoots. However, capacitive load is not required for sensor output stability.

Package Type



MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V _{DD} :	6.0V
Storage temperature:	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied:	-40°C to +125°C
Junction Temperature (T _J):	150°C
EOD Protection On All Pins (HBM:MM):	(4 kV:200V)
Latch-Up Current at Each Pin:	±200 mA

†Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: V _{DD} = 3.3V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -40°C to +125°C and No load. MCP9701/9701A: V _{DD} = 3.1V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -10°C to +125°C and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V _{DD}	2.3	—	5.5	V	MCP9700/9700A
	V _{DD}	3.1	—	5.5	V	MCP9701/9701A
Operating Current	I _{DD}	—	6	12	µA	
Power Supply Rejection	Δ°C/ΔV _{DD}	—	0.1	—	°C/V	
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
T _A = +25°C	T _{ACC}	—	±1	—	°C	
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACC}	-2.0	—	+2.0	°C	MCP9700A/9701A
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACC}	-2.0	—	+4.0	°C	MCP9700A
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACC}	-2.0	—	+4.0	°C	MCP9701A
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACC}	-4.0	—	+4.0	°C	MCP9700/9701
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACC}	-4.0	—	+6.0	°C	MCP9700
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACC}	-4.0	—	+6.0	°C	MCP9701
Sensor Output						
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{OUT}	—	500	—	mV	MCP9700/9700A
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{OUT}	—	400	—	mV	MCP9701/9701A
Temperature Coefficient	T _D	—	10.0	—	mV/°C	MCP9700/9700A
	T _C	—	19.5	—	mV/°C	MCP9701/9701A
Output Non-linearity	V _{ONL}	—	±0.5	—	°C	T _A = 0°C to +70°C (Note 2)
Output Current	I _{OUT}	—	—	100	µA	
Output Impedance	Z _{OUT}	—	20	—	Ω	I _{OUT} = 100 µA, f = 500 Hz
Output Load Regulation	ΔV _{OUT} /ΔI _{OUT}	—	1	—	Ω	T _A = 0°C to +70°C, I _{OUT} = 100 µA

- Note 1:** The MCP9700/9700A family accuracy is tested with V_{DD} = 3.3V, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with V_{DD} = 5.0V.
- Note 2:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 4-2.
- Note 3:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized and production tested with a capacitive load of 1000 pF.
- Note 4:** 9C-70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (lead).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Turn-on Time	t_{ON}	—	800	—	μs	
Typical Load Capacitance (Note 3)	C_{LOAD}	—	—	1000	pF	
GC-70 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.3	—	s	30°C (Air) to $+125^{\circ}C$
TO-92 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.65	—	s	(Fluid Bath) (Note 4)

Note 1: The MCP9700/9700A family accuracy is tested with $V_{DD} = 3.3V$, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with $V_{DD} = 5.0V$.

2: The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 4-2.

3: The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized and production tested with a capacitive load of 1000 pF.

4: GC-70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (leaded).

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9700/9700A (Note)
	T_A	-10	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9701/9701A (Note)
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, GC-70-5	θ_{JA}	—	331	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, TO-92-3	θ_{JA}	—	131.9	—	$^{\circ}C/W$	

Note: Operation in this range must not cause T_J to exceed Maximum Junction Temperature ($+150^{\circ}C$).

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

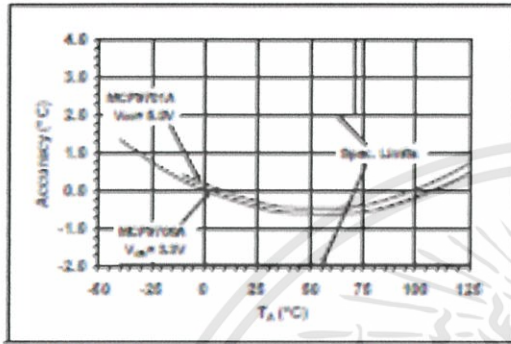


FIGURE 2-1: Accuracy vs. Ambient Temperature (MCP9700A/9701A).

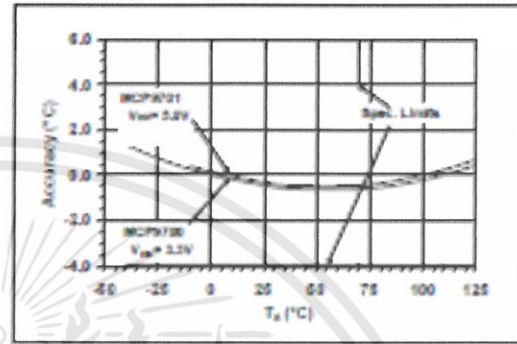


FIGURE 2-4: Accuracy vs. Ambient Temperature (MCP9700/9701).

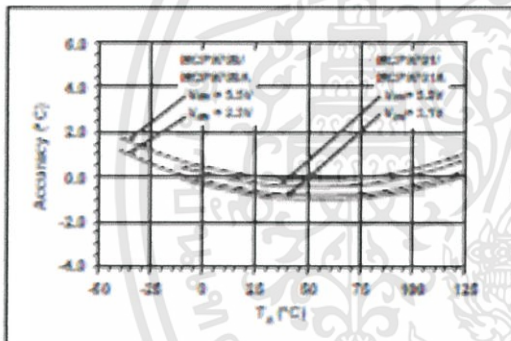


FIGURE 2-2: Accuracy vs. Ambient Temperature, with V_{DD} .

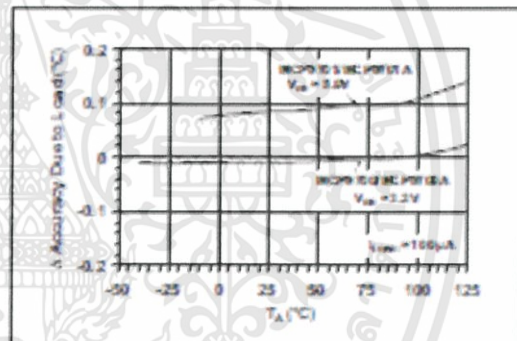


FIGURE 2-5: Changes in Accuracy vs. Ambient Temperature (Due to Load).

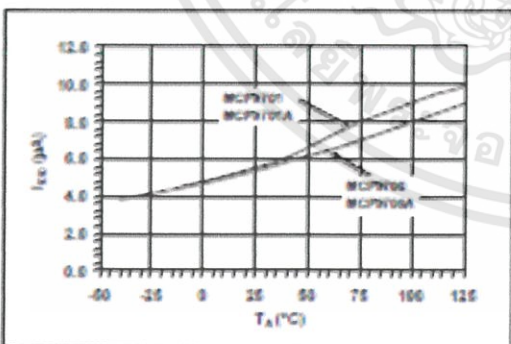


FIGURE 2-3: Supply Current vs. Temperature.

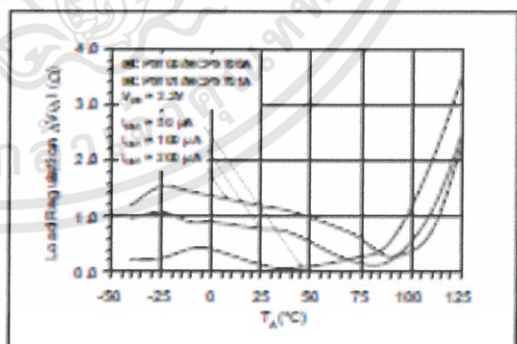


FIGURE 2-6: Load Regulation vs. Ambient Temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

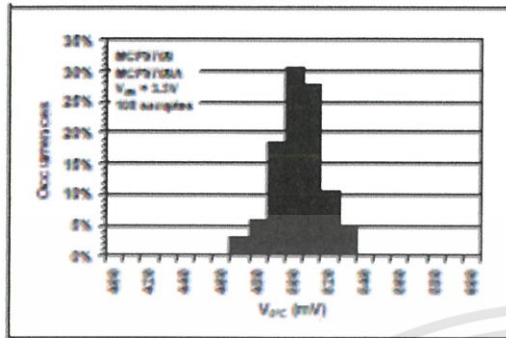


FIGURE 2-7: Output Voltage at $0^{\circ}C$ (MCP9700/9700A).

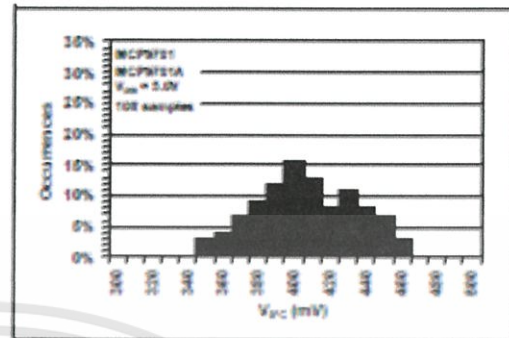


FIGURE 2-10: Output Voltage at $0^{\circ}C$ (MCP9701/9701A).

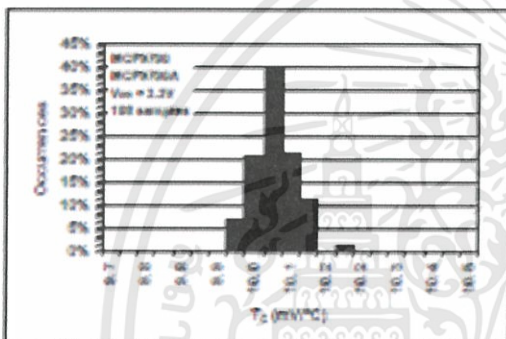


FIGURE 2-8: Occurrences vs. Temperature Coefficient (MCP9700/9700A).

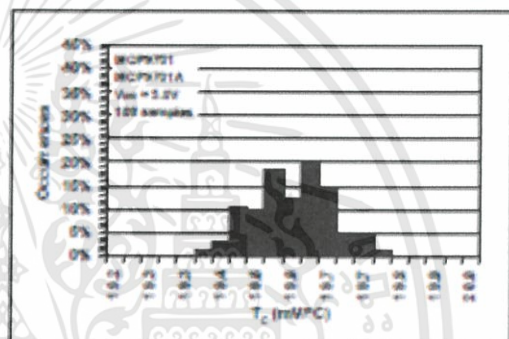


FIGURE 2-11: Occurrences vs. Temperature Coefficient (MCP9701/9701A).

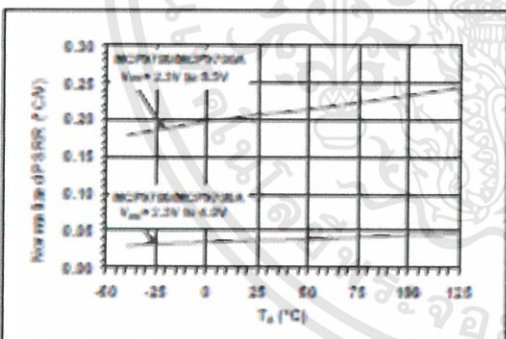


FIGURE 2-9: Power Supply Rejection ($d^{\circ}C/dV_{DD}$) vs. Ambient Temperature.

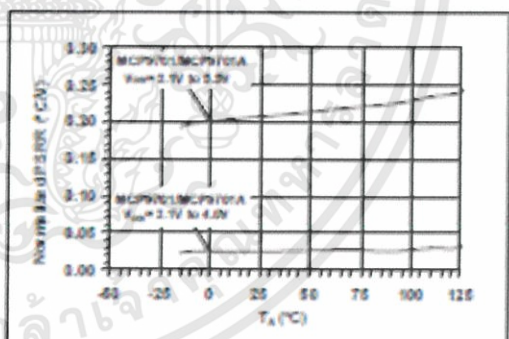


FIGURE 2-12: Power Supply Rejection ($d^{\circ}C/dV_{DD}$) vs. Temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

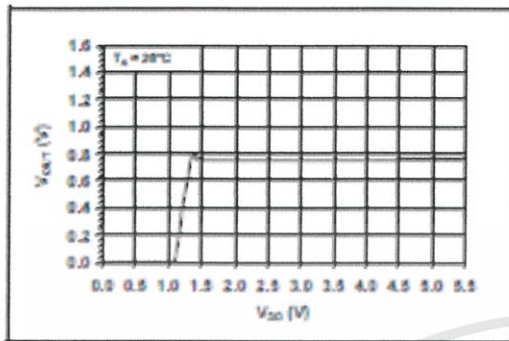


FIGURE 2-13: Output Voltage vs. Power Supply.

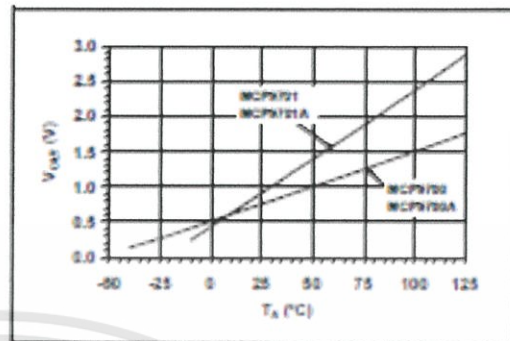


FIGURE 2-16: Output Voltage vs. Ambient Temperature.

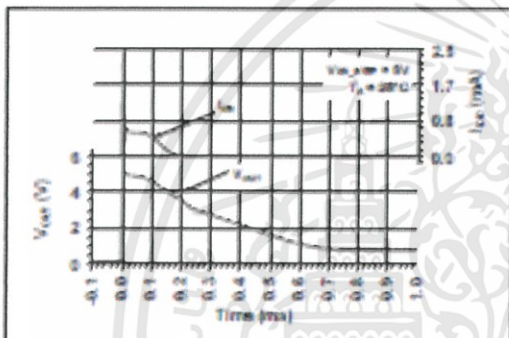


FIGURE 2-14: Output vs. Settling Time to step V_{DD} .

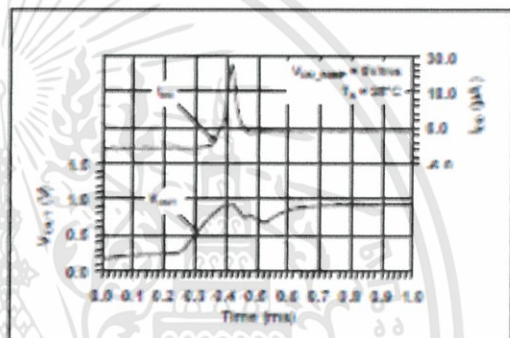


FIGURE 2-17: Output vs. Settling Time to Ramp V_{DD} .

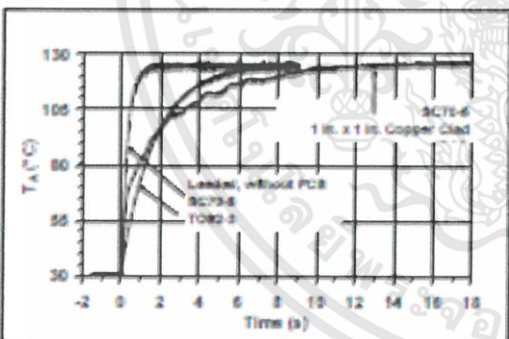


FIGURE 2-15: Thermal Response (Air to Fluid Bath).

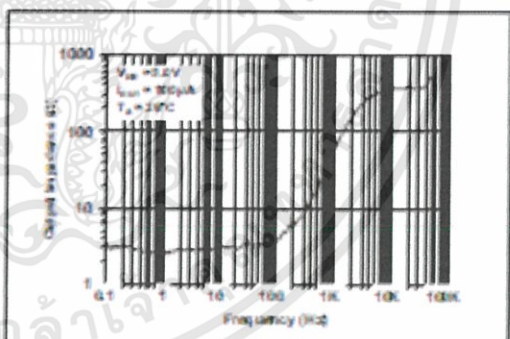


FIGURE 2-18: Output Impedance vs. Frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE

Pin No. SC-70	Pin No. TO-62	Symbol	Function
1	—	NC	No Connect
2	3	GND	Power Ground Pin
3	2	V _{OUT}	Output Voltage Pin
4	1	V _{DD}	Power Supply Input
5	—	NC	No Connect

3.1 Power Ground Pin (GND)

GND is the system ground pin.

3.2 Output Voltage Pin (V_{OUT})

The sensor output can be measured at V_{OUT}. The voltage range over the operating temperature range for the MCP9700/9700A is 100 mV to 1.75V, and for the MCP9701/9701A, 200 mV to 3V.

3.3 Power Supply Input (V_{DD})

The operating voltage as specified in the "DC Electrical Characteristics" table is applied to V_{DD}.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

4.0 APPLICATIONS INFORMATION

The Linear Active Thermistor™ IC uses an internal diode to measure temperature. The diode electrical characteristics have a temperature coefficient that provides a change in voltage based on the relative ambient temperature from -40°C to 125°C. The change in voltage is scaled to a temperature coefficient of 10.0 mV/°C (typ.) for the MCP9700/9700A and 19.5 mV/°C (typ.) for the MCP9701/9701A. The output voltage at 0°C is also scaled to 500 mV (typ.) and 400 mV (typ.) for the MCP9700/9700A and MCP9701/9701A, respectively. This linear scale is described in the first-order transfer function shown in Equation 4-1.

EQUATION 4-1: SENSOR TRANSFER FUNCTION

$$V_{OUT} = T_C \cdot T_A + V_{0°C}$$

Where:

- T_A = Ambient Temperature
- V_{OUT} = Sensor Output Voltage
- $V_{0°C}$ = Sensor Output Voltage at 0°C
- T_C = Temperature Coefficient

4.1 Improving Accuracy

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A accuracy can be improved by performing a system calibration at a specific temperature. For example, calibrating the system at +25°C ambient improves the measurement accuracy to a ±0.5°C (typ.) from 0°C to +70°C, as shown in Figure 4-1. Therefore, when measuring relative temperature change, this family measures temperature with higher accuracy.

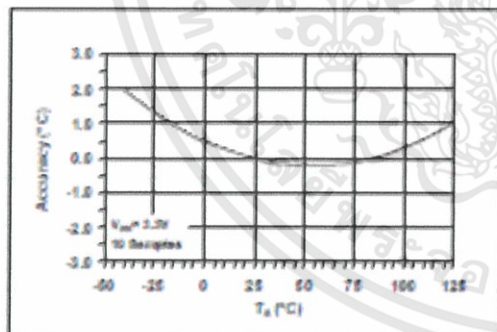


FIGURE 4-1: Relative Accuracy to +25°C vs. Temperature.

The change in accuracy from the calibration temperature is due to the output non-linearity from the first-order equation, as specified in Equation 4-2. The accuracy can be further improved by compensating for the output non-linearity.

For higher accuracy using a sensor compensation technique, refer to AN1001 90 Temperature Sensor Accuracy Compensation with a PIC/micro® Microcontroller® (DS01001). The application note shows that if the MCP9700 is compensated in addition to room temperature calibration, the sensor accuracy can be improved to ±0.5°C (typ.) accuracy over the operating temperature (Figure 4-2).

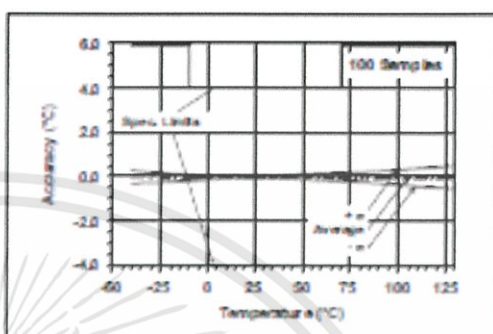


FIGURE 4-2: MCP9700/9700A Calibrated Sensor Accuracy.

The compensation technique provides a linear temperature reading. A firmware look-up table can be generated to compensate for the sensor error.

4.2 Shutdown Using Microcontroller I/O Pin

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family of low operating current of 5 µA (typ.) makes it ideal for battery-powered applications. However, for applications that require tighter current budget, this device can be powered using a microcontroller input/output (I/O) pin. The I/O pin can be toggled to shut down the device. In such applications, the microcontroller internal digital switching noise is emitted to the MCP9700/9700A and MCP9701/9701A as power supply noise. This switching noise compromises measurement accuracy. Therefore, a decoupling capacitor and series resistor will be necessary to filter out the system noise.

4.3 Layout Considerations

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family does not require any additional components to operate. However, it is recommended that a decoupling capacitor of 0.1 µF to 1 µF be used between the V_{DD} and GND pins. In high-noise applications, connect the power supply voltage to the V_{DD} pin using a 200Ω resistor with a 1 µF decoupling capacitor. A high frequency ceramic capacitor is recommended. It is necessary for the capacitor to be located as close as possible to the V_{DD} and GND pins in order to provide effective noise protection. In addition, avoid tracing digital lines in close proximity to the sensor.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

4.4 Thermal Considerations

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family measures temperature by monitoring the voltage of a diode located in the die. A low-impedance thermal path between the die and the PCB is provided by the pins. Therefore, the sensor effectively monitors the temperature of the PCB. However, the thermal path for the ambient air is not as efficient because the plastic device package functions as a thermal insulator from the die. However, the plastic device package insulates the die and restricts device thermal response. This limitation applies to plastic-packaged silicon temperature sensors. If the application requires measuring ambient air, the PCB needs to be designed with proper thermal conduction to the sensor pins.

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A is designed to source/sink 100 μA (max). The power dissipation due to the output current is relatively insignificant. The effect of the output current can be described using Equation 4-2.

EQUATION 4-2: EFFECT OF SELF-HEATING

$$T_J - T_A = \theta_{JA} (V_{DD} I_{DD} + (V_{DD} - V_{OUT}) I_{OUT})$$

Where:

- T_J = Junction Temperature
- T_A = Ambient Temperature
- θ_{JA} = Package Thermal Resistance (331°C/W)
- V_{OUT} = Sensor Output Voltage
- I_{OUT} = Sensor Output Current
- I_{DD} = Operating Current
- V_{DD} = Operating Voltage

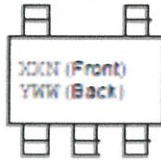
At $T_A = +25^\circ\text{C}$ ($V_{OUT} = 0.75\text{V}$) and maximum specification of $I_{DD} = 12\ \mu\text{A}$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$ and $I_{OUT} = +100\ \mu\text{A}$, the self-heating due to power dissipation ($T_J - T_A$) is 0.179°C.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

5.0 PACKAGING INFORMATION

5.1 Package Marking Information

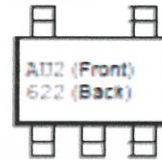
5-Lead SC-70 (MCP9700/MCP9700A)



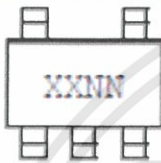
Device	Code
MCP9700/9700A	ALNN
MCP9701/9701A	AVNN

Note: Applies to 5-Lead SC-70

Example:



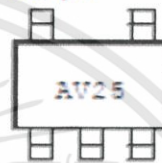
5-Lead SC-70 (MCP9701/MCP9701A)



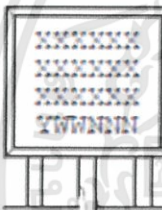
Device	Code
MCP9700/9700A	ALNN
MCP9701/9701A	AVNN

Note: Applies to 5-Lead SC-70

Example:



3-Lead TO-92 (MCP9700/MCP9701)



Example

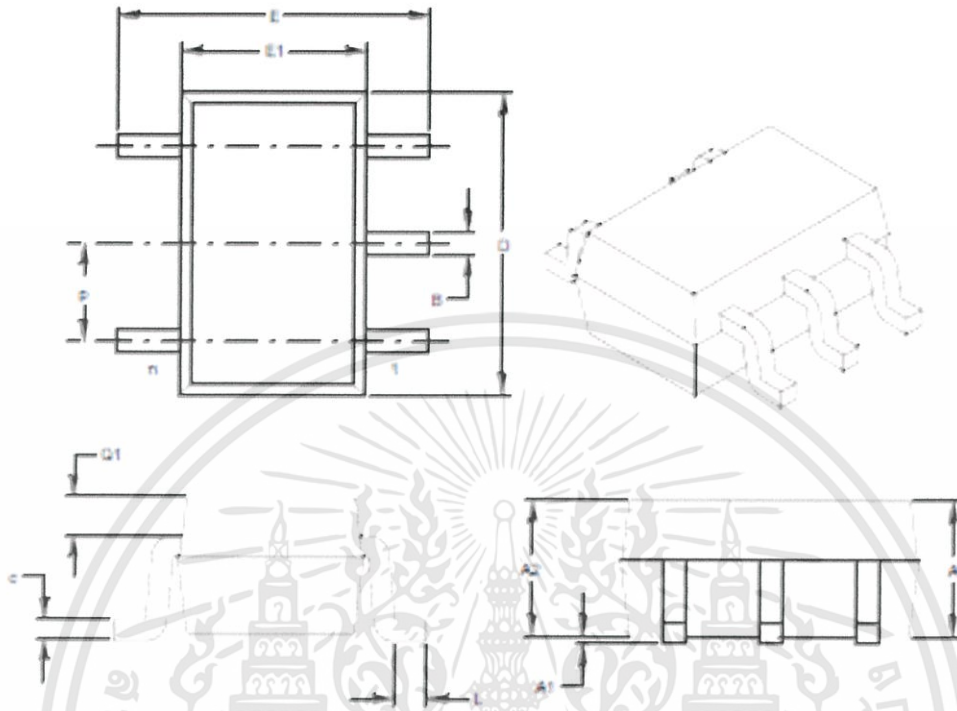


Legend:	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 (is week '01'))
	NNN	Alphanumeric traceability code
	(63)	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (63) can be found on the outer packaging for this package.

Note: In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

5-Lead Plastic Small Outline Transistor (LT) (SC-70)



Dimension/Limit	Units	INCHES			MILLIMETERS*		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	P	5			5		
Pitch	P	0.26 (BSC)			0.26 (BSC)		
Overall Height	A	0.31		0.43	0.80		1.10
Molded Package Thickness	A2	0.31		0.33	0.80		1.00
Standoff	A1	0.30		0.04	0.30		0.10
Overall Width	E	0.71		0.94	1.80		2.40
Molded Package Width	E1	0.45		0.63	1.15		1.55
Overall Length	B	0.71		0.87	1.80		2.20
Foot Length	L	0.06		0.12	0.10		0.30
Top of Molded Flg to Lead Shoulder	Q1	0.04		0.15	0.10		0.40
Lead Thickness	c	0.04		0.07	0.10		0.18
Lead Width	/S	0.05		0.12	0.15		0.30

* Controlling Parameter

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.05" (0.127mm) per side.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

See ASME Y14.5M

JETTA (DIA) Standard: SC-70

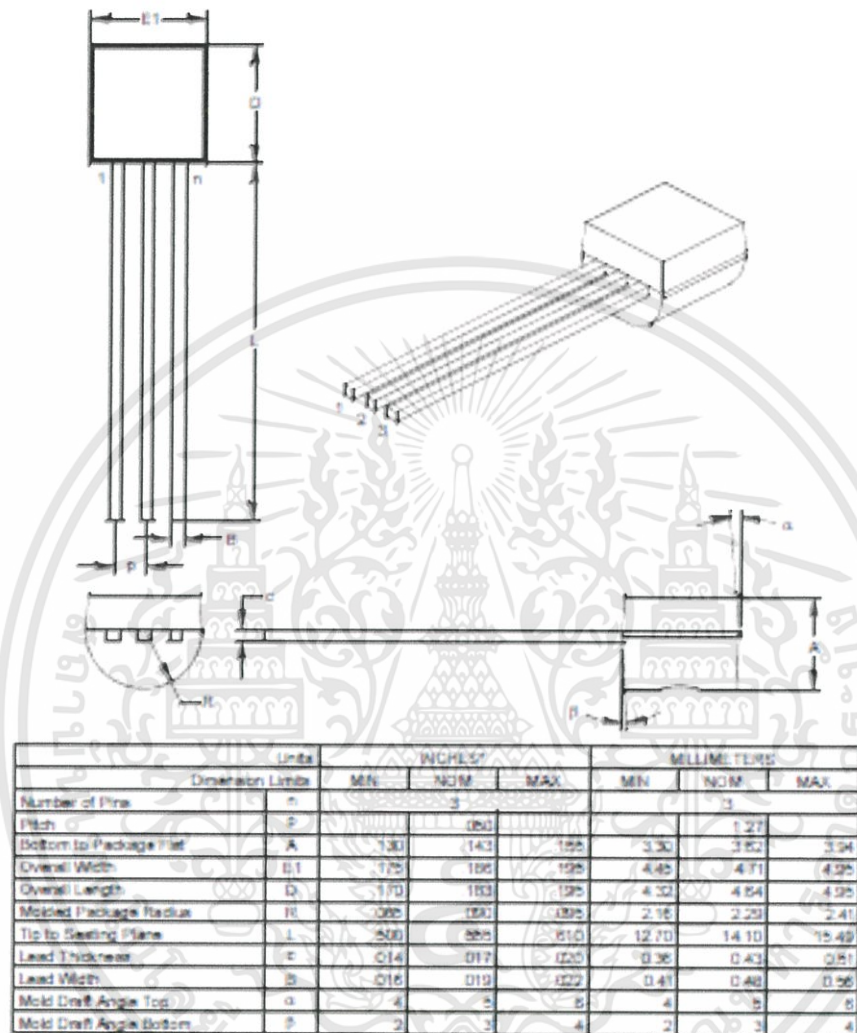
Drawing No: 004-061

Revised: 07-10-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

3-Lead Plastic Transistor Outline (TO) (TO-92)



* Controlling Parameter

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed

0.10" (0.254mm) per side.

JEDOC Equivalent: TO-92

Drawing No. 004-101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

APPENDIX A: REVISION HISTORY

Revision C (June 2006)

- Added the MCP9700A and MCP9701A devices to data sheet
- Added TO92 package for the MCP9700/MCP9701

Revision B (October 2005)

The following is the list of modifications:

- Added Section 3.0 "Pin Descriptions"
- Added the Linear Active Thermistor™ IC trademark
- Removed the 2nd order temperature equation and the temperature coefficient histogram
- Added a reference to AN1001 and corresponding verbiage
- Added Figure 4-2 and corresponding verbiage

Revision A (November 2005)

- Original Release of this Document.



MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

PART NO.	-	X	XXX	Examples:
Device	Temperature Range		Package	
Device:	MCP9700T:	Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, Pb free		a) MCP9700T-E-LT: Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, BLD 5C-70 package.
	MCP9700AT:	Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, Pb free		b) MCP9700E-E-TD: Linear Active Thermistor™ IC, BLD TO-32 package.
	MCP9701T:	Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, Pb free		c) MCP9700AT-E-LT: Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, BLD 5C-70 package.
	MCP9701AT:	Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, Pb free		a) MCP9701T-E-LT: Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, BLD 5C-70 package.
Temperature Range:	E	-40°C to +125°C		b) MCP9701E-E-TD: Linear Active Thermistor™ IC, BLD TO-32 package.
Package:	LT	Plastic Small Outline Transistor, 5-lead		c) MCP9701AT-E-LT: Linear Active Thermistor™ IC, Tape and Reel, BLD 5C-70 package.
	TD	Plastic Plastic Transistor Outline, 3-lead (MCP9700, MCP9701 only)		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

NOTES:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND, WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KitzLoC, micro16, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE, PowerSmart, rPIC, and SmartShunt are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Amplab, FilterLab, Migrateable Memory, MCODEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital-Age, Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Linear Active Thermistor, Mindi, MWA, MPASM, MPLIB, MPLINK, PICKit, PICDEM, PICDEM.net, PICLAB, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rLAB, rPICDEM, Select Mode, Smart Serial, SmartTel, Total Endurance, UNV0, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2006, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

♻️ Printed on recycled paper.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==**

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona, Gresham, Oregon and Mountain View, California. The Company's quality system processes and procedures are for its PICmicro® 8-bit MCUs, KitzLoC® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office
2355 West Chandler Blvd
Chandler, AZ 85224-8199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
Technical Support:
<http://support.microchip.com>
Web Address:
www.microchip.com
Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

Atlanta
Alpharetta, GA
Tel: 770-640-0084
Fax: 770-640-0307

Boston
Westborough, MA
Tel: 774-760-0087
Fax: 774-760-0088

Chicago
Itasca, IL
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

Dallas
Addison, TX
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 248-538-2250
Fax: 248-538-2260

Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 765-864-8360
Fax: 765-864-8387

Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 949-462-0523
Fax: 949-462-0608

San Jose
Mountain View, CA
Tel: 650-215-1444
Fax: 650-961-0286

Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 905-673-8699
Fax: 905-673-8600

ASIA/PACIFIC

Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

China - Chengdu
Tel: 86-28-8675-6200
Fax: 86-28-8675-6599

China - Fuzhou
Tel: 86-591-8750-3596
Fax: 86-591-8750-3621

China - Hong Kong SAR
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

China - Qingdao
Tel: 86-532-8502-7325
Fax: 86-532-8502-7205

China - Shanghai
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5098

China - Shenyang
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2303

China - Shenzhen
Tel: 86-755-8203-2880
Fax: 86-755-8203-1760

China - Shunde
Tel: 86-757-2830-6507
Fax: 86-757-2830-5571

China - Wuhan
Tel: 86-27-5080-5300
Fax: 86-27-5080-5118

China - Xian
Tel: 86-29-8833-7250
Fax: 86-29-8833-7256

ASIA/PACIFIC

India - Bangalore
Tel: 91-80-4182-8400
Fax: 91-80-4182-8422

India - New Delhi
Tel: 91-11-5160-8631
Fax: 91-11-5160-8632

India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

Korea - Gumi
Tel: 82-54-473-4301
Fax: 82-54-473-4302

Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 or
82-2-558-5934

Malaysia - Penang
Tel: 60-4-646-8870
Fax: 60-4-646-5086

Philippines - Manila
Tel: 63-2-834-0065
Fax: 63-2-834-9069

Singapore
Tel: 65-8334-8870
Fax: 65-8334-8850

Taiwan - Hsin Chu
Tel: 886-3-572-9038
Fax: 886-3-572-6459

Taiwan - Keelung
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

Taiwan - Taipei
Tel: 886-2-2500-5610
Fax: 886-2-2508-0102

Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

EUROPE

Austria - Wels
Tel: 43-7240-2244-3010
Fax: 43-7240-2244-303

Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

France - Paris
Tel: 33-1-69-63-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany - Munich
Tel: 49-89-827-144-0
Fax: 49-89-827-144-44

Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

Netherlands - Druen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

Spain - Madrid
Tel: 34-01-708-08-00
Fax: 34-01-708-08-01

UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5860
Fax: 44-118-921-5820