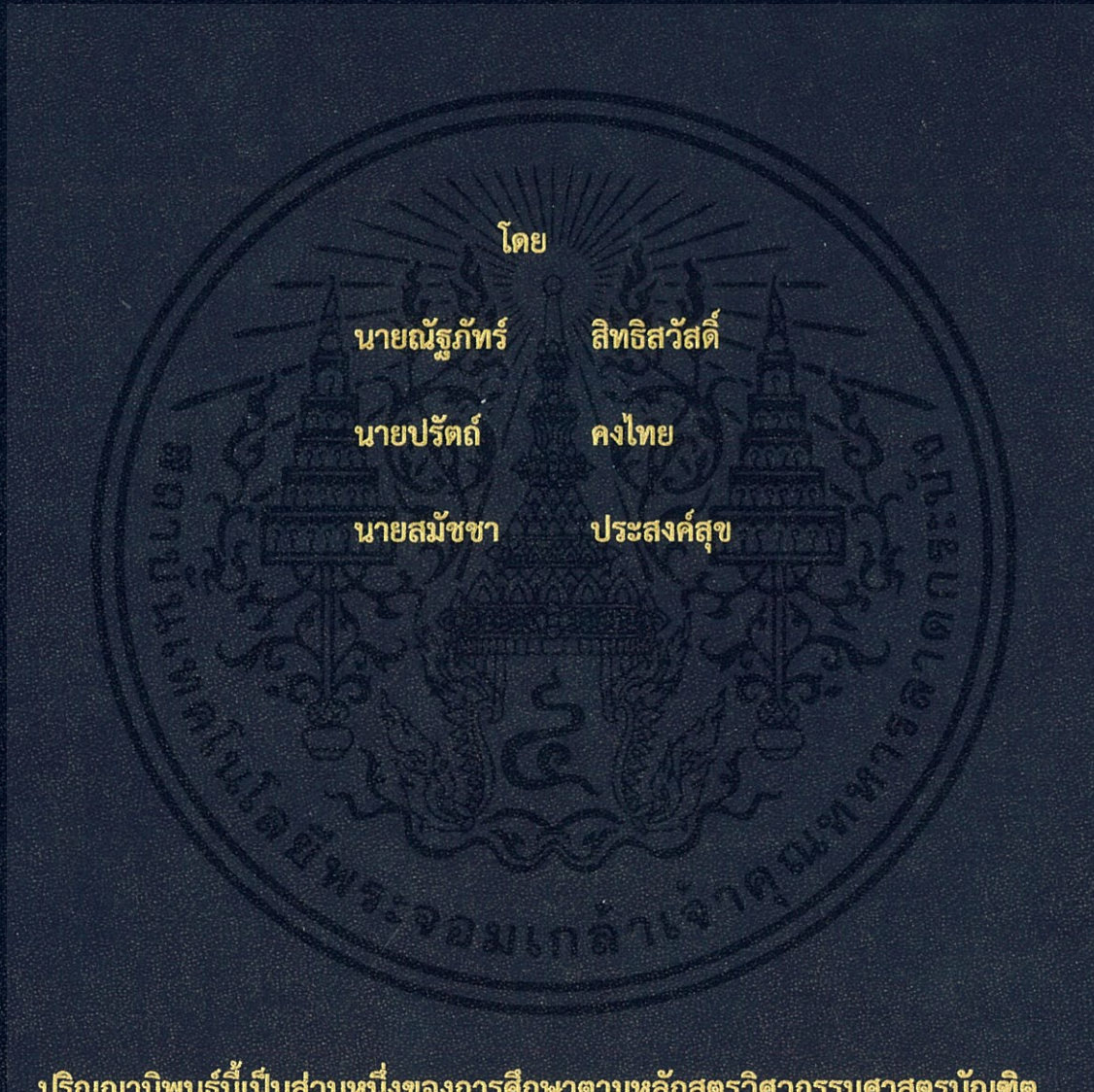


ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์ TEG

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์ TEG

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator

โดย

นายณัฐภัทร์ ลิทธิสวัสดิ์

นายปรัดต์ คงไทย

นายสมัชชา ประสงค์สุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์ TEG

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์
TEG

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐภัทร์ ลีทิสวัสดิ์
2. นายปรัตถ์ คงไทย
3. นายสมัชชา ประสงค์สุข



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์ TEG

นายณัฐภัทร์ สิริสวัสดิ์

นายปรีดิ์ คงไทย

นายสมัชชา ประสงค์สุข

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ ที่ประยุกต์ใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) ในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากการใช้ความร้อนเหลือทิ้ง โดยได้เขียนโปรแกรมและประดิษฐ์วงจรควบคุม Maximum Power Point Tracking (MPPT) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพอุปกรณ์นี้ให้สูงขึ้นกว่าเดิม โดยมีการเพิ่ม TEG Module จาก 10 โมดูล เป็น 17 โมดูล เพิ่มแหล่งจ่ายอุณหภูมิด้านร้อนเป็น หลอดไฟ ขนาด 100 W จำนวน 6 หลอด โดยมีการบ่อนแรงดันกระแสสลับที่ 240 V ในการวิจัยครั้งนี้ เริ่มทำการวัดกระแส แรงดัน ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ณ อุณหภูมิที่แตกต่างโดยประมาณ 60 - 70 °C ซึ่งจากการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิด้านร้อนเป็น 70.3 °C และอุณหภูมิด้านเย็นเป็น 7.32 °C ดังนั้นจะได้ความแตกต่างของอุณหภูมิมอยู่ที่ 62.98 °C ทำการวัดค่ากระแสแรงดัน ที่ผลิตได้แล้วนำไปสร้างกราฟคุณลักษณะของกระแส - แรงดัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและทำการหาค่ากำลังของ short circuit , open circuit และ maximum power ที่ผลิตได้จากกราฟคุณลักษณะข้างต้น ซึ่งมีค่าเป็น 0.0171 W , 0.0001 W และ 0.5491 W ที่โหลดความต้านทาน 0.5 , 1M และ 51 โอห์ม ตามลำดับ ในขั้นตอนถัดไปได้นำมาใช้งานกับวงจร Mppt Control ชนิด Buck Converter เพื่อชาร์ตแรงดันเข้าแบตเตอรี่ขนาด 3.7 V ผลการทดสอบที่ได้คือ สามารถทำการชาร์ตได้สำเร็จจึงได้นำไปทดสอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆพบว่าสามารถใช้งานได้จริง ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ร่วมกับเทคโนโลยี MPPT Control สามารถนำไปปรับใช้ประโยชน์ได้จริง

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator

Nattapat Sithisawat

Parat Kongthai

Samatcha Prasongsuk

Asst.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul Advisor

Abstract

This thesis is a study of electrical production behavior of thermoelectric generators. Which applied thermoelectric material (TEG) to create a micro power generator from waste heat by programming and inventing the Maximum Power Point Tracking (MPPT) circuit. The efficiency of this device is improved by adding TEG Module from 10 modules to 17 modules, adding hot temperature supply sources as 600 W light bulbs with AC voltage input at 240 V. We start measuring the current and voltage produced from a micro power generator at a temperature difference of approximately 60 - 70 °C. The testing result , the heating side temperature is 70.3 °C and the cooling side temperature is 7.32 °C. So the temperature difference is at 62.98 °C. Measure the voltage and current produced then create the current-voltage characteristic graph. Which has value of 0.0171 W, 0.0001 W and 0.5491 W that load resistance 0.5, 1M and 51 ohms respectively. The next step is to use the Buck Converter type of Mppt Control circuit to charge the battery voltage 3.7 V. The result of the test is available successfully, therefore being tested with various electronic devices found that it can actually useful. So it can be considered that the power generator has been modified combine with MPPT Control technology can be used to be practical.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้นเต็มไปด้วยความช่วยเหลือจากบุคลากรหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นต่างๆที่สำคัญและเป็นประโยชน์อย่างมาก อีกทั้งยังเกิดจากการทำงานด้วยความพยายามมุ่งมั่นอย่างเต็มที่ โดยอาศัยความร่วมมือของสมาชิกทุกคนในกลุ่มที่สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในด้านเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง คำแนะนำในการทดลอง และการใช้ห้องปฏิบัติการทดลอง รวมทั้งความช่วยเหลือและความรู้ที่เป็นประโยชน์จากเพื่อนนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้าและผู้อื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องของในโครงการนี้ทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทั้งด้านการศึกษา การเงิน รวมทั้งให้กำลังใจ ซึ่งทำให้โครงการนี้สามารถประสบความสำเร็จไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสในการจัดทำโครงการเพื่อนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์จริงจึงขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.3 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	5
2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	13
2.3 วงจรลดระดับแรงดัน (Buck Converter).....	18
2.4 Maximum Power Point Tracking.....	21
2.5 เทคนิค Perturb and Observe (P&O).....	24
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	26
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
3.2 ขั้นตอนการทดลอง ตอนที่ 1.....	28
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์วงจร.....	30
3.4 ขั้นตอนการทดลอง ตอนที่ 2.....	31
บทที่ 4 ผลการทดสอบ และประเมินผล.....	32
4.1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 17 โมดูล.....	32
4.2 ผลการทดสอบ วงจร MPPT Control กับแบตเตอรี่ 3.7 V.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	37
5.1 ข้อจำกัดการทดลอง.....	37
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	38
5.3 ข้อเสนอแนะในการต่อยอดโครงการ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก.....	41
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ.....	42
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของประจุภายในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล.....	5
รูปที่ 2.2 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงแนวโน้มของค่าสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก.....	9
รูปที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามปรากฏการณ์ซีเบค.....	10
รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามปรากฏการณ์เพลเทียร์.....	11
รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของโมดูล TEG ชนิดหนึ่ง.....	12
รูปที่ 2.7 กราฟกำลังไฟฟ้ากับโหลด.....	12
รูปที่ 2.8 ฮีทซิงค์อะลูมิเนียม.....	13
รูปที่ 2.9 ฮีทซิงค์ทองแดง.....	14
รูปที่ 2.10 ฮีทซิงค์ทองแดงผสมอะลูมิเนียม.....	15
รูปที่ 2.11 กาวซิลิโคนนำความร้อน.....	15
รูปที่ 2.12 กาวซิลิโคนซึ่งเชื่อมต่อระหว่างแผ่น TEG และ ฮีทซิงค์.....	16
รูปที่ 2.13 กาวซิลิโคนนำความร้อน.....	16
รูปที่ 2.14 กล่องน้ำระบายความร้อน.....	17
รูปที่ 2.15 วงจร Buck Converter.....	18
รูปที่ 2.16 Switch ที่สภาวะ ON.....	18
รูปที่ 2.17 Switch ที่สภาวะ OFF.....	19
รูปที่ 2.18 แสดงการวิเคราะห์ในวงจรและกราฟแสดงผลที่สภาวะคงตัว.....	20

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.19 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve.....	21
รูปที่ 2.20 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve.....	22
รูปที่ 2.21 จุดตัดที่ได้กำลังสูงสุดนั้นคือแรงดันและกระแสต้องไปด้วยกันแบบใกล้เคียงกันที่สุด.....	22
รูปที่ 2.22 รูปแบบการทำงานของ P&O algorithm.....	25
รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ทำการปรับปรุงใหม่.....	27
รูปที่ 3.2 แหล่งจ่ายอุณหภูมิต้านร้อน.....	27
รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดและแหล่งจ่ายไฟฟ้าในการทดลอง.....	28
รูปที่ 3.4 การตรวจวัดอุณหภูมิทั้งสองด้านจากแผงวงจร Thermal Sensor ผ่าน Arduino.....	29
รูปที่ 3.5 การวัดค่าของกระแส แรงดัน ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	29
รูปที่ 3.6 การออกแบบวงจร MPPT Control ที่ประดิษฐ์ใช้ในการทดสอบ.....	30
รูปที่ 3.7 การประดิษฐ์วงจร MPPT Control ที่ใช้ในการทดสอบ.....	31
รูปที่ 3.8 กระบวนการทำงานของวงจร MPPT Control ที่ได้ประดิษฐ์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	31
รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	33
รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	33
รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะกระแส-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบวงจร MPPT Control.....	35
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบวงจร MPPT Control.....	36



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O.....	24
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังที่ถูกผลิตออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ผลต่างอุณหภูมิ 62.98 °C สำหรับ 17 โมดูล.....	32
ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังไฟฟ้า Short Circuit ที่ $\Delta T = 62.98$ °C สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	34
ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้า Open Circuit ที่ $\Delta T = 62.98$ °C สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	34
ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ $\Delta T = 62.98$ °C สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก.....	34
ตารางที่ 4.5 ค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลัง ที่ $\Delta T = 60 - 70$ °C สำหรับการทดสอบ วงจร MPPT Control.....	35

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันผู้คนนั้นได้ใช้ชีวิตอยู่ในยุคที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการแปรรูปพลังงานจากฟอสซิล นั้นเริ่มที่จะตอบสนองต่อความต้องการได้ยากมากขึ้น อีกทั้งยังต้องมีการใส่ใจในผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในขณะที่การแปรรูปพลังงานที่ใช้เป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากพอควร เนื่องจากกระบวนการแปรรูปพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เราใช้ได้จากกระบวนการเผาไหม้เพื่อสร้างความร้อนเพื่อนำไปแปรรูปพลังงานต่อไป ซึ่งในระหว่างกระบวนการนั้นได้สร้างมลพิษเช่นกัน ทำให้เกิดแนวโน้มที่จะสืบค้นหาแหล่งพลังงานทดแทน หรือพลังงานสะอาดมาช่วยลดสัดส่วนของการใช้พลังงานจากฟอสซิล เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของผู้บริโภคได้มากขึ้น และความต้องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม พลังงานสะอาดจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถที่จะให้พลังงานและยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

พลังงานสะอาดในปัจจุบันมีพลังงานที่นำให้ความสนใจและกำลังเป็นที่พัฒนาในขณะนี้ คือ พลังงานความร้อน เนื่องจากพลังงานความร้อนนั้นสามารถพบได้หลายที่ เช่น กระบวนการหลักในการแปรรูปพลังงานของเราส่วนใหญ่ยังคงเป็นกระบวนการทางความร้อน ซึ่งในกระบวนการนั้นไม่ได้มีประสิทธิภาพสูงมากนัก จึงทำให้ยังมีการปลดปล่อยพลังงานที่ออกมา ทำให้ความร้อนส่วนนี้ถูกปล่อยทิ้งโดยไร้ประโยชน์ นอกจากความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ในการแปรรูปพลังงานแล้วยังมีความร้อนที่เกิดขึ้นตามสภาพแวดล้อมโดยรอบที่พวกเราได้อาศัยอยู่ เช่น พลังงานความร้อนที่ผนังตึกดูดซับไว้จากการโดนแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ความร้อนจากกระจกห้องเนื่องจากแสงอาทิตย์ หรือความร้อนจากคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ความร้อนเหล่านี้ถูกปล่อยให้สูญเปล่าโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพราะถือว่าเป็นความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปปรับใช้พัฒนาต่อยอด เพราะถือว่าเป็นพลังงานที่สะอาด หาได้ง่าย ต้นทุนต่ำ อีกทั้งยังมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนนั้นไม่ว่ากลางวันหรือกลางคืนก็สามารถที่จะมีความร้อนเกิดขึ้นได้ ซึ่งตรงนี้เป็นข้อได้เปรียบที่น่าสนใจ ซึ่งอาจมีบทบาทในการช่วยลดสัดส่วนการใช้พลังงานจากฟอสซิลในอนาคตได้ด้วยเช่นกัน

เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้านั้น ในปัจจุบันได้มีการนำไปใช้งานบ้างแล้ว แต่จะพบมากในความร้อนที่มีคุณภาพสูง หรือความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เช่น วัฏจักรของแรงดัน สารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle) เป็นกระบวนการใช้ความร้อนเพื่อให้สารเหลวที่มีจุดเดือดต่ำนั้นกลายเป็นไอขับเคลื่อนการทำงานของกังหันไอน้ำและผลิตไฟฟ้าออกมา เป็นต้น สำหรับความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำนั้นมี

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) ที่สามารถแปรรูปพลังงานได้โดยตรง เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีการเคลื่อนที่จึงไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวน และไม่ต้องการการซ่อมบำรุงสูงนั่นเอง อุปกรณ์ตัวนี้ใช้หลักการความแตกต่างของอุณหภูมิของสองด้านของแผ่นวัสดุในการสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์กับการนำความร้อนที่เหลือทิ้งและถูกปล่อยโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นก็ยังคงถือว่าค่อนข้างต่ำและมีต้นทุนที่สูงสำหรับการแปรรูปพลังงาน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษา MPPT (Maximum Power Point Tracking) คือ รูปแบบการคำนวณอย่างหนึ่ง ที่นำมาใช้กับการทำงานของ แผงโซลาร์เซลล์ (หรือ กังหันลม ผลิตกระแสไฟฟ้า) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากขึ้น เพราะในความเป็นจริงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จาก แผงโซลาร์เซลล์ มีค่าไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มของแสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งอาจจะสามารถนำมาปรับใช้ร่วมกันกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นได้ ดังนั้นเทคโนโลยีเหล่านี้อาจมีบทบาทในอนาคตเพราะมีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำตัวอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีเทคโนโลยีรองรับที่เติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น นาโนเทคโนโลยี เป็นต้น ทำให้การให้การศึกษาอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและ MPPT มีความน่าสนใจในการพัฒนาใช้งานต่อในอนาคตมากขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

1.1.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ความร้อนอุณหภูมิต่างๆ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ด้วย 17 โมดูล

1.1.3 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและการวิเคราะห์ค่าที่คำนวณได้จาก MPPT เพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพให้เครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก

1.1.4 เพื่อสร้างและปรับปรุงประสิทธิภาพชุดผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากความร้อนเหลือทิ้ง และศึกษาคุณลักษณะการผลิตไฟฟ้าของชุดผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่อุณหภูมิที่สามารถจำลองได้

1.2 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.2.1 สามารถอธิบายหลักการทำงาน และโครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ได้

1.2.2 สามารถอธิบายหลักการทำงานและวิเคราะห์การคำนวณของ MPPT ได้

1.2.3 สามารถสร้างกราฟของพฤติกรรมในการผลิตไฟฟ้าที่มีผลต่างของอุณหภูมิที่แตกต่างของ 17 โมดูลได้

- 1.2.4 สามารถสร้างชุดทดลองการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยอาศัยพลังงานจากความร้อนเหลือทิ้ง เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าที่อุณหภูมิจำลอง
- 1.2.5 การศึกษานี้เป็นการจำลองอุณหภูมิขึ้นเพื่อการทดลอง ทำให้มีข้อจำกัดในด้านอุณหภูมิเท่าที่สามารถวัดค่าได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ด้านร้อนจะไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส
- 1.2.6 การศึกษานี้พยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของอุณหภูมิด้านร้อนให้ได้มากยิ่งขึ้น ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นจะทำการคงที่ไว้ ดังนั้นในการทดลองจะมีการให้พลังงานกับระบบระบายความร้อนเพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG)

1.3 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นทางทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก
- 1.3.2 ศึกษาเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขายในตลาดทั่วไป ที่หาซื้อได้ง่าย และมีราคาที่เหมาะสม
- 1.3.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีใช้งานและวิเคราะห์ผลคำนวณของ MPPT
- 1.3.4 สร้างชุดทดลองเพื่อจำลองอุณหภูมิขึ้น สำหรับการทดสอบวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- 1.3.5 ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่างๆ และค่าที่ MPPT วิเคราะห์ คำนวณที่แสดงออกมาได้
- 1.3.6 ปรับปรุงการทำงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ดีขึ้น โดยเพิ่มจำนวนของฮีทซิงค์ ปรับปรุงระบบระบายความร้อนในการทดลองและคงที่อุณหภูมิด้านเย็นไว้เพื่อผลิต กระแส แรงดันได้มากขึ้น
- 1.3.7 สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่สามารถรองรับอุปกรณ์ (Load) จำนวนมากขึ้นได้ และ ทดสอบหาคุณลักษณะการผลิตไฟฟ้าที่อุณหภูมิที่ชุดการจำลองสามารถทำได้
- 1.3.8 สรุปการทดลองของงานวิจัย และปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเพื่อการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งได้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์นำความร้อนเหลือทิ้ง มาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม

1.4.2 เพื่อเป็นการสร้างต้นแบบของชุดผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากความร้อนเหลือทิ้ง

1.4.3 เพื่อเป็นข้อมูลคุณลักษณะการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลให้กับผู้สนใจ

1.4.4 เพื่อเป็นการนำการใช้งานของ MPPT มาประยุกต์ร่วมกับชุดผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

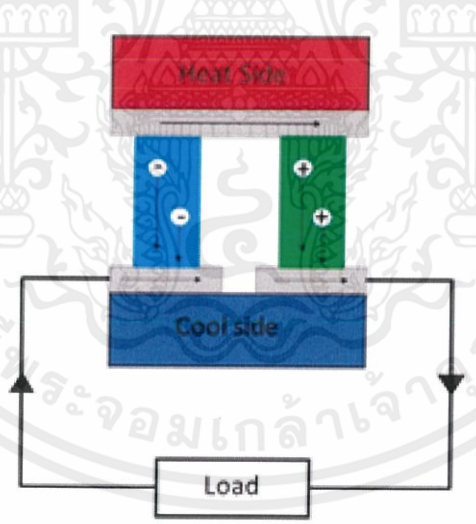
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการเคลื่อนที่ในการผลิตไฟฟ้า จึงไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวน ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

2.1.1 ทฤษฎี และหลักการการทำงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น มีผู้ที่อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากวัสดุที่ได้รับความน่าเชื่อถืออยู่ 3 ปรากฏการณ์ คือ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson Effect) โดยรายละเอียดของแต่ละปรากฏการณ์มีดังนี้

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ในปี ค.ศ.1821 นักฟิสิกส์ชื่อ โทมัส โยฮาน ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) ได้ค้นพบปรากฏการณ์ที่ เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นที่รอยต่อของโลหะ ชนิดที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงที่รอยต่อของโลหะเนื่องจากประจุในโลหะที่ได้รับความร้อน จะได้รับพลังงานกระตุ้นทำให้มีพลังงานจลน์ 2 ทั้งสองนั้นสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุขึ้น ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งอธิบายการเกิดขั้ว บวก และลบ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ โฮล และอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของประจุภายในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

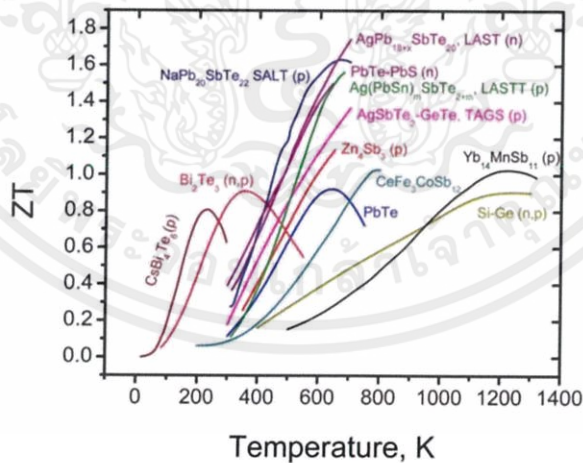
ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

เรเตอร์ , 2560

ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ถูกค้นพบในปี ค.ศ.1834 โดย ฌอง เพลเทียร์ (Jean Peltier) ได้ทำการทดลองป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับโลหะทองแดง และบิสมัทซึ่งเชื่อมต่อกันผลที่เกิดขึ้นคือ โลหะด้านหนึ่งร้อนขึ้น ในขณะที่อีกด้านหนึ่งเย็นตัวลง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ย้อนกลับของซีเบค โดยปรากฏการณ์นี้ถูกอธิบายว่า เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน ส่วนอีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนโลหะทั้งสอง

ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson Effect) ในปี ค.ศ.1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Seebeck Effect และ Peltier Effects ค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck และ Peltier ว่ามีความสัมพันธ์กันทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งทอมสันนำไปทำนายผลของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในปรากฏการณ์ทอมสัน ความร้อนจะถูกดูดซับ หรือเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลลงวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งความร้อนมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าและความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยค่าสัมประสิทธิ์ทอมสันมีค่าสัมพันธ์กันโดยใช้เทอร์โมไดนามิกส์ นำไปสู่สัมประสิทธิ์ Seebeck

2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก คือวัสดุที่สามารถแสดงปรากฏการณ์ทั้ง 3 ปรากฏการณ์ ได้แก่ ปรากฏการณ์ซีเบค ปรากฏการณ์เพลเทียร์ และปรากฏการณ์ทอมสัน ซึ่งทั้งหมดคือปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีค่าที่บอกถึงคุณสมบัติการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีคือค่า ZT (figure of merit) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรสำคัญสำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้แก่สัมประสิทธิ์ซีเบค ค่าสภาพนำไฟฟ้า และค่าสภาพนำความร้อน และตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคืออุณหภูมิ เพราะวัสดุต่างๆที่นำมาใช้จะมีความคงทนต่ออุณหภูมิใช้งานไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่า ZT ตามอุณหภูมิต่างๆจึงเป็นค่าที่สำคัญเพราะจะทำให้ทราบว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนี้เหมาะสมที่จะใช้งานในช่วงอุณหภูมิใด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความแตกต่างของอุณหภูมิต่างๆ

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

ดังนั้นการเลือกชนิดของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้งานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าสูงสุด ZT ของตัววัสดุ นั้นในอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดจึงต้องมีการแบ่งชนิดวัสดุตามการใช้งานจากอุณหภูมิและค่า ZT ที่อุณหภูมินั้นๆ ยกตัวอย่างจากกราฟจะพบว่าช่วงอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส) ควรใช้วัสดุชนิด Bi₂Te₃ เพราะให้ค่า ZT ที่สูงสำหรับช่วงอุณหภูมินี้เป็นต้น

เกณฑ์ที่จะนำมาใช้เลือกวัสดุให้ได้ผลดีที่สุดสำหรับสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อที่จะนำไปใช้งานเช่นการผลิตไฟฟ้า การทำความเย็น และการทำความร้อน จะพิจารณาสองปัจจัยหลักคือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และตัวประกอบกำลัง ซึ่งทั้งสองปัจจัยจะขึ้นอยู่กับความนำไฟฟ้า, การนำความร้อน, สัมประสิทธิ์ซีเบค และพฤติกรรมขณะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ ปัจจัยทั้งหมดนั้นเกี่ยวข้องกับค่า ZT ของวัสดุ หากค่า ZT ของวัสดุมีค่าสูงจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังสูงโดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (Device efficiency) ค่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก คำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\eta = \frac{\text{พลังงานที่จ่ายโหลด}}{\text{พลังงานความร้อนที่ได้รับ}} \quad (2.1)$$

ค่า figure of merit นั้นเป็นค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดและบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้สมการที่ 2.2 ในการคำนวณ

$$Z = \frac{\sigma S^2}{K} \quad (2.2)$$

ค่า Z มีหน่วยคือ 1/K เป็นค่าที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการแปลงพลังงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกวัสดุใดมีค่า Z สูงก็จะเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีมาก เมื่อพิจารณาจากสมการค่า Z ที่สูงแสดงว่าวัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (S) และค่าสภาพนำไฟฟ้า (σ) ที่สูงเป็นผลให้มีค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์สูง และมีค่าสภาพนำความร้อน (K) ต่ำ แต่ในการวิเคราะห์จริงจะใช้ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริตแบบไม่มีหน่วย (ZT) เพราะสามารถใช้เปรียบเทียบค่าระหว่างวัสดุด้วยกันที่อุณหภูมิต่างๆได้ สามารถบอกได้ว่าวัสดุจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิใด

ประสิทธิภาพสูงสุดของอุปกรณ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$\eta_{max} = \frac{T_H - T_C \sqrt{1 + Z\bar{T}} - 1}{T_H \sqrt{1 + Z\bar{T}} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (2.3)$$

โดยที่ T_H คืออุณหภูมิด้านร้อน T_C คืออุณหภูมิด้านเย็น และ \bar{T} คืออุณหภูมิเฉลี่ยทั้งหมดหน่วยเคลวิน (K) ซึ่งจากการที่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นมีลักษณะเหมือนกับเครื่องจักรความร้อนประสิทธิภาพของอุปกรณ์จึงถูกจำกัดตามวัฏจักรคาโนตีในการเปลี่ยนความร้อนให้กลายเป็นพลังงานสมการนี้จึงแบ่งพิจารณา

ประสิทธิภาพได้สองส่วนหลักคือ เทอมของสัมประสิทธิ์คาร์โนต์ $\frac{T_H - T_C}{T_H}$ และเทอมของสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก $\frac{\sqrt{1+Z\bar{T}}-1}{\sqrt{1+Z\bar{T}}+\frac{T_C}{T_H}}$

ตัวประกอบกำลัง (Power factor) ค่าตัวประกอบกำลังคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและค่าความนำไฟฟ้า ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งวัสดุที่มีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงนั้นก็จะมีความสามารถในการแปรผันกำลังได้สูงเช่นกัน

$$\text{Power factor} = \sigma S^2 \quad (2.4)$$

ดังนั้นวัสดุที่ต้องการนำมาใช้เพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพการแปรผันพลังงานที่จะต้องเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูง ค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ และมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง โดยค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดเป็นสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

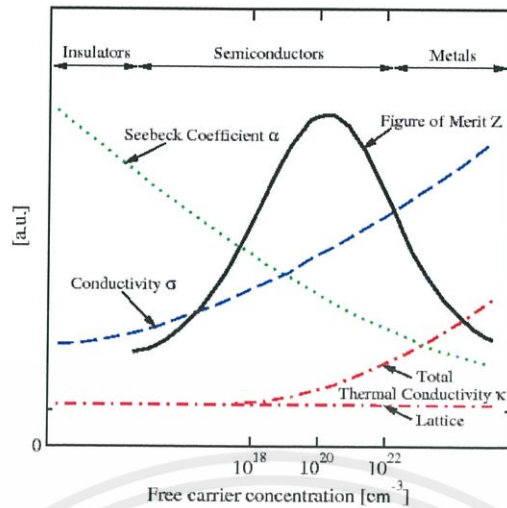
สมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.3 จากสมการประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะพบว่ามี 2 ส่วนหลักที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพคือ ส่วนของสัมประสิทธิ์คาร์โนต์และส่วนของสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในส่วนของสมบัติทางวัสดุนั้นจะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆดังนี้ 1. ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริตไม่มีหน่วย (ZT) 2. ค่าตัวประกอบกำลัง 3. ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค 4. ค่าสภาพนำไฟฟ้า 5. ค่าสภาพนำความร้อน

การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกคือการทำให้ค่า ZT สูงขึ้นซึ่งจะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆคือค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและค่าสภาพนำความร้อน

ค่าสภาพนำไฟฟ้า มีนิยามคือ สัดส่วนระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเกรเดียนต์ของศักย์ไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ขอกกล่าวโดยสรุปสำหรับวัสดุทั่วไปค่าสภาพนำไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นอิเล็กตรอน แต่สำหรับวัสดุกึ่งตัวนำจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนหรือโฮล ดังนั้นค่าสภาพนำไฟฟ้าของโลหะจะมีค่าสูงและสูงกว่าค่าสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุกึ่งตัวนำ

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งในวัสดุทั่วไปจะแปรผันกับค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจะมีค่าต่ำสำหรับวัสดุโลหะและมีค่าสูงมากสำหรับวัสดุกึ่งตัวนำ

ค่าสภาพนำความร้อนเป็นค่าคงที่แสดงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุซึ่งค่านี้เกิดจากรวมกันของค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอนและค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากโฟนอนจากการที่ค่า ZT จะสูงได้ก็ควรที่จะมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำจึงจะต้องแยกพิจารณาค่าสภาพนำความร้อนทั้งสองส่วนโดยสรุปดังนี้ ค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอนจะแปรผันโดยตรงกับค่าสภาพนำไฟฟ้างั้นค่านี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีความหนาแน่นพาหะสูงขึ้น ค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากโฟนอนจะไม่ขึ้นกับค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเป็นค่าที่เกิดจากการสั่นของโครงผลึกซึ่งเป็นกลไกของการนำความร้อนของวัสดุ



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงแนวโน้มของค่าสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

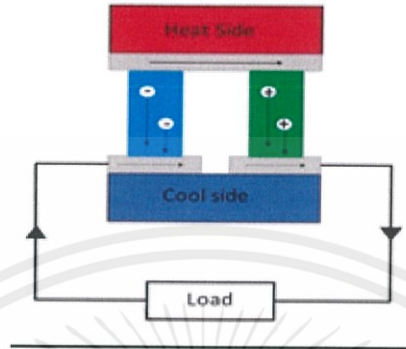
ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

ดังนั้นค่าสูงสุดของ ZT เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจะมีค่าสูงในวัสดุที่มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนต่ำ ค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงเมื่อมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงเช่นเดียวกันกับค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอน แต่สำหรับค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากโฟนอนนั้นไม่ขึ้นกับค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนของวัสดุ ถ้าต้องการเพิ่มค่า ZT จะสามารถทำได้ด้วยการลดค่าสภาพนำความร้อนที่เกิดจากโฟนอนซึ่งเกี่ยวข้องกับการสั่นของโครงผลึกเท่านั้นจึงไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ค่าสภาพนำไฟฟ้า และค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุจะมีค่าลดลง

วัสดุที่เหมาะสมสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานที่อุณหภูมิห้องที่มีอยู่ในปัจจุบันคือ Bismuth telluride (Bi_2Te_3) โดยวัสดุชนิดนี้ให้ค่า figure-of-merit (ZT) อยู่ระหว่าง 0.8 และ 1.0 ที่อุณหภูมิห้อง ค่า ZT ที่ได้เป็นผลจากโครงสร้างของวัสดุนี้ โดยตัววัสดุมีการนำไฟฟ้าที่ดีแต่นำความร้อนได้ไม่ดี และทนความร้อนได้ไม่มาก เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นแล้วราคาจะค่อนข้างต่ำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขายส่วนใหญ่มูลราคา 100-300 บาทจึงทำมาจากวัสดุชนิดนี้ หากเป็นชนิดอื่นๆที่ทนอุณหภูมิสูงๆได้จะมีราคาแพงการนำมาใช้งานเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพแล้วไม่คุ้มค่า

2.1.3 การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จากหลักการเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถประยุกต์สร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้งานได้ 2 รูปแบบหลักคือ 1. เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานตามปรากฏการณ์ซีเบคหรือผลิตไฟฟ้า 2. เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานตามปรากฏการณ์เพลเทียร์หรือทำความเย็นและความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกตามปรากฏการณ์ซีเบค (Thermoelectric generator: TEG) จากหลักการของซีเบคคือเปลี่ยนความแตกต่างของความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.4 โดยสามารถพิจารณาจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก หรือเรียกว่าเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) และวัสดุกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type)

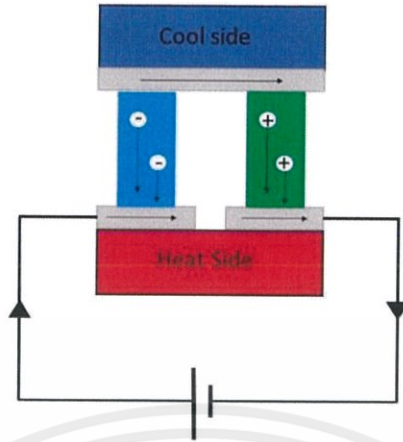


รูปที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามปรากฏการณ์ซีเบค

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

เมื่อกำหนดให้ด้านบนมีอุณหภูมิสูงและด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำ จะเกิดการไหลของความร้อนจากด้านร้อนไปด้านเย็นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (ในวัสดุ n-type) และโฮล (ในวัสดุ p-type) จากด้านร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังด้านเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงมีจำนวนพาหะด้านล่างมากกว่าด้านบนเมื่อพิจารณาวัสดุชนิดเอ็นจะพบว่าที่ปลายด้านล่างซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่เยอะกว่าด้านบนนั้นจะแสดงศักย์ไฟฟ้าเสมือนเป็นศักย์ลบ และในวัสดุชนิดพีซึ่งมีโฮลอยู่ที่ปลายล่างเยอะก็จะแสดงศักย์ไฟฟ้าเสมือนเป็นศักย์บวกเมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในวัสดุทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ โดยในวัสดุชนิดเอ็นกระแสไฟฟ้ามีทิศการไหลจากด้านเย็นไปด้านร้อนสวนทางกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและสวนทางกับการไหลของความร้อนส่วนในวัสดุชนิดพีกระแสไฟฟ้าจะมีทิศการไหลจากด้านร้อนไปด้านเย็นตามทิศการเคลื่อนที่ของโฮลและมีทิศเดียวกับการไหลของความร้อนนั่นเอง จากหลักการที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าและเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ตามปรากฏการณ์ซีเบค อุปกรณ์นี้จึงถูกเรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกหรือตัวกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator: TEG)

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกตามปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Thermoelectric cooler: TEC) มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.5 จากปรากฏการณ์เพลเทียร์ที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งอุปกรณ์ที่ทำงานตามปรากฏการณ์เพลเทียร์ คือ เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอกให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแล้วจะเกิดความแตกต่างอุณหภูมิทั้งสองด้านของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกได้

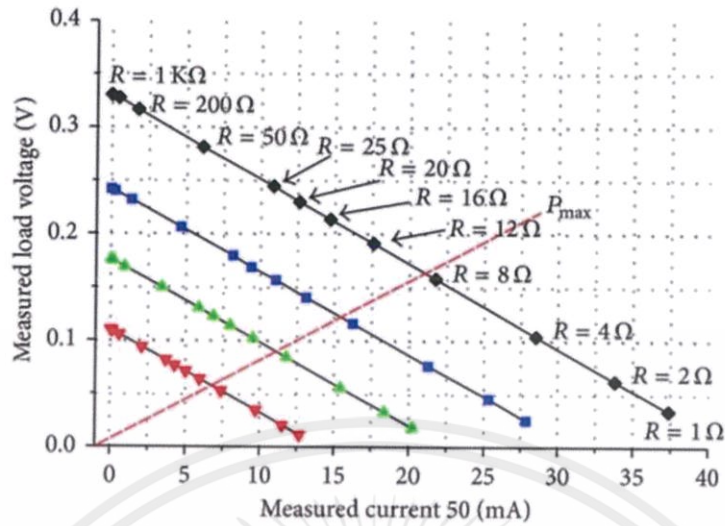


รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามปรากฏการณ์เพลเทียร์

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

เมื่ออุปกรณ์ได้รับไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามาจะบังคับให้เกิดศักย์ไฟฟ้าบวกที่ด้านล่างของวัสดุชนิดเอ็นและเกิดศักย์ไฟฟ้าลบที่ด้านล่างของวัสดุชนิดพี ดังนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในวัสดุจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะในวัสดุ เมื่อพิจารณาที่วัสดุชนิดเอ็นมีพาหะคืออิเล็กตรอนเมื่อมีสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงกระทำต่อประจุอิเล็กตรอนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตามทิศของแรงที่เกิดขึ้นดังนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เคลื่อนที่จากปลายที่มีศักย์เป็นลบไปยังด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่จะเกิดการพาความร้อนไปด้วยเกิดการไหลของความร้อนทำให้ด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าลบนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าบวกนั้นคือด้านบนเย็นกว่าด้านล่างตามรูป ในวัสดุชนิดพีก็เช่นกันแต่ทิศทางการเคลื่อนที่พาหะซึ่งเป็นโฮลนั้นจะมีทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอนทำให้ด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าบวกหรือด้านบนนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านที่มีศักย์ไฟฟ้าลบซึ่งก็คือด้านล่างของวัสดุ จากที่กล่าวมาจะพบว่าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถสร้างความแตกต่างอุณหภูมิได้ตามปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ 2 รูปแบบคือ 1. เป็นตัวทำความเย็นจากด้านที่เย็นจะถูกเรียกว่า ตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler: TEC) 2. เป็นตัวทำความร้อนจากด้านที่ร้อนจะถูกเรียกว่า ตัวทำความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Heater: TEH)

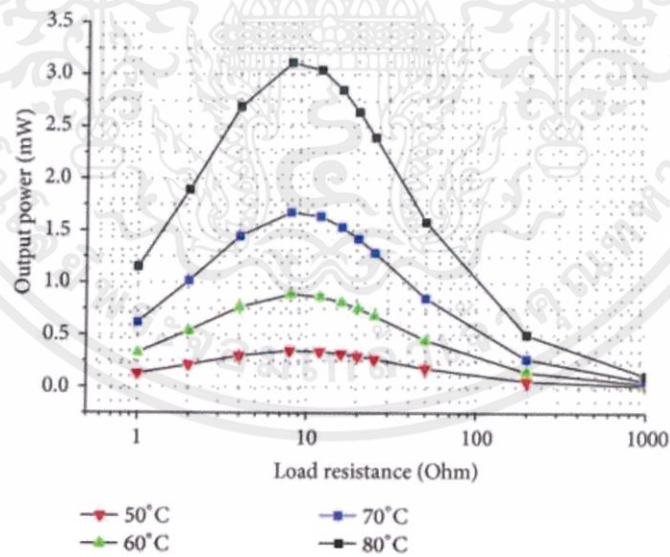
2.1.4 กราฟคุณลักษณะ ของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(TEG) จะมีอยู่ 2 กราฟที่สามารถบอกคุณลักษณะของอุปกรณ์ได้ คือ กราฟกระแส-แรงดัน ดังรูปที่ 2.6 และกราฟกำลังไฟฟ้า-โวลต์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของโมดูล TEG ชนิดหนึ่ง

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเนอ์

เรเตอร์ , 2560



รูปที่ 2.7 กราฟกำลังไฟฟ้ากับโหลด

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเนอ์

เรเตอร์ , 2560

จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกหนึ่งตัวนั้นมีค่าต่ำมาก (หน่วยmW) การนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นจะต้องนำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกมาต่อรวมกันหลายๆโมดูลเพื่อให้มีการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.2.1 ฮีทซิงค์ แผงระบายความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อน เพราะการติดตั้งแผงนำความร้อน ติดตั้งเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราใช้งานไม่เกิดความร้อนมากเกินไปจนส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายแก่ตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ โดยแผงนำความร้อนจะมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้นเพื่อให้ระบายความร้อนได้มากขึ้น วัสดุที่ใช้ในการทำแผงนำความร้อน เช่น อะลูมิเนียม , ทองแดง และ ทองแดงผสมอะลูมิเนียม ซึ่งแต่ละวัสดุที่ใช้ทำแผงระบายความร้อนก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนี้

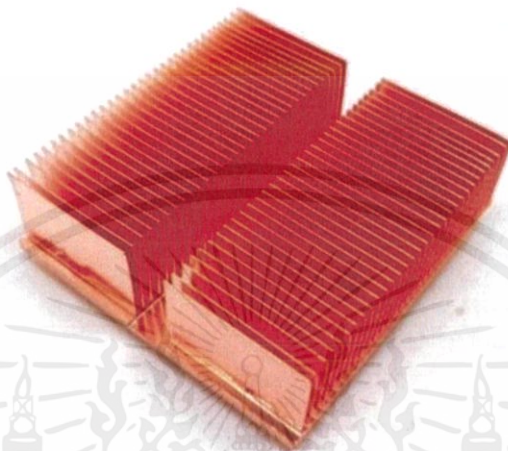
ฮีทซิงค์ที่ทำจากอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 2.8 จะมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา ขั้นตอนการผลิตง่าย ราคาถูกเมื่อเทียบกับ ทองแดง และทองแดงผสมอะลูมิเนียม แต่มีข้อเสียคือ การนำความร้อนจะไม่ดีเท่าทองแดง และทองแดงผสมอะลูมิเนียม



รูปที่ 2.8 ฮีทซิงค์อะลูมิเนียม

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

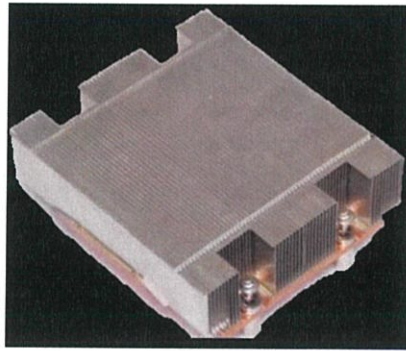
ฮีทซิงค์ที่ทำจากทองแดง ดังรูปที่ 2.9 จะมีราคาค่อนข้างสูงจะนิยมใช้เฉพาะบางกลุ่ม เช่นอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูงมากกว่าปกติ และต้องการลดความร้อนได้รวดเร็วมากขึ้น แผงระบายความร้อนที่ทำมาจากทองแดงจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม และทองแดงผสมอะลูมิเนียม แต่ก็จะมีข้อเสียคือขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก เนื่องจากมีส่วนของครีบมาก การประกอบครีบบกับตัวแผงนำความร้อนจะต้องใช้การเชื่อมด้วย



รูปที่ 2.9 ฮีทซิงค์ทองแดง .

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

ฮีทซิงค์ทองแดงผสมอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 2.10 จะมีชิ้นส่วนประกอบระหว่างทองแดงและอะลูมิเนียม โดยแผงนำความร้อนผิวหน้าทาจากทองแดง และครีบบจะทามาจากอะลูมิเนียม โดยระหว่างผิวสัมผัสของทองแดงและอะลูมิเนียมจะมีสารที่ช่วยในการนำความร้อน เพื่อให้ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดมีพื้นผิวแนบสนิทกัน และถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น แต่ประสิทธิภาพโดยรวมนั้นจะดีกว่าการใช้อะลูมิเนียม แต่จะนำความร้อนไม่ดีเท่ากับการใช้ทองแดง ราคาของแผงนำความร้อนชนิดนี้ราคาไม่สูงมาก และมีน้ำหนักที่เบาว่าทองแดง



รูปที่ 2.10 ฮีทซิงค์ทองแดงผสมอะลูมิเนียม

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ , 2560

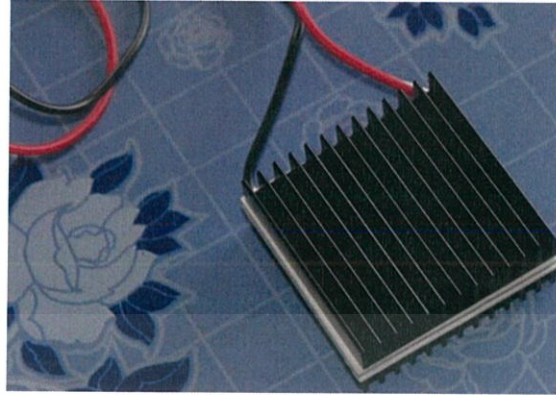
2.2.2 ซิลิโคนนำความร้อน ดังรูปที่ 2.11 เป็นสารพอลิเมอร์ ที่ประกอบด้วย ซิลิโคน คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และสารเคมีประเภทอื่นๆ โดยลักษณะการใช้งานของซิลิโคนจะมีหลายรูปแบบ เช่น กาวยาแนว ฉนวน และงานทางการแพทย์ ซิลิโคนมีคุณสมบัติของความยืดหยุ่นและการนำความร้อนได้ดี



รูปที่ 2.11 กาวซิลิโคนนำความร้อน

การใช้งานซิลิโคนที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ คือ ซิลิโคนนำความร้อนเพราะสามารถช่วยระบายความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเชื่อมต่อให้พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น โดยการใช้งานนั้น จะทาซิลิโคนนำความร้อนระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฮีทซิงค์ ดังรูปที่ 2.12 เพราะในขณะที่ไม่ใช้กาวซิลิโคนนำความร้อน พื้นผิวระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฮีทซิงค์จะเกิดผิวขรุขระ ไม่เรียบ เชื่อมต่อถึงกันไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดปัญหาในด้านการระบายความร้อนอย่างไม่เต็มที่ ดังนั้น การใช้กาวซิลิโคนนำความร้อนระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฮีทซิงค์ก็จะช่วยให้พื้นผิวทั้งสองวัตถุเชื่อมประสานถึงกัน พื้นผิวเรียบสนิทมากขึ้น การระบายความร้อนดีขึ้นประโยชน์ของการใช้งานซิลิโคนนอกจากจะช่วยพื้นผิวระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฮีทซิงค์เชื่อมถึงกันอย่างเรียบสนิทแล้ว ก็ยังมีประโยชน์ในการช่วยระบายความร้อน เพราะการใช้งานกาวซิลิโคนนำความร้อนจะช่วยลดอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลงประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กาวซิลิโคนซึ่งเชื่อมต่อระหว่างแผ่น TEG และ ฮีทซิงค์

2.2.3 กาวสองหน้า นำความร้อน หรือ เทปกาวสองหน้า อะคริลิก โพลีเมอร์ ดังรูป 2.13 ซึ่งมี ส่วนประกอบคือ ผงเซรามิก กาวซิลิโคน และ สารอินทรีย์ ซึ่งมีคุณสมบัติให้ความยืดหยุ่น การบีบอัดความหนา และความเหนียว การใช้งานนั้นสามารถช่วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์จะนำมาใช้กับระบายความร้อนจาก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเชื่อมต่อให้พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น โดยการใช้งานนั้นจะติดกาวสองหน้า นำความร้อนระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับฮีทซิงค์ และติดกาวสองหน้า นำความร้อนระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับกล่องน้ำระบายความร้อน เพราะในกรณีที่ไม่มีกาวสองหน้า นำความร้อน พื้นผิวระหว่าง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับฮีทซิงค์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับกล่องน้ำระบายความร้อน จะเกิดผิวขรุขระ ไม่เรียบ เชื่อมต่อกันไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดปัญหาในด้านการระบายความร้อนอย่างไม่เต็มที่ ดังนั้น การใช้กาวสองหน้า นำความร้อนระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับฮีทซิงค์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับกล่องน้ำระบายความร้อน จะช่วยให้พื้นผิวทั้งสองวัตถุเชื่อมประสานถึงกัน พื้นผิวเรียบสนิทมากขึ้น การระบายความร้อน หรือ การนำความร้อนดีขึ้น



รูปที่ 2.13 กาวซิลิโคนนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ก้อนน้ำระบายความร้อน (Water Cooling Block) ดังรูป 2.14 เป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจาก อะลูมิเนียม ใช้เป็นส่วนประกอบในระบบการระบายความร้อนด้วยของเหลว (Water Cooling) ซึ่งมี ประสิทธิภาพ และเสถียรภาพที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ การใช้งานนั้นจะนำมาติดกับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กาวสองหน้านำความร้อนเป็นตัวเชื่อมให้ติดกัน ซึ่งข้อดีของการระบายความร้อนด้วย ของเหลวคือมีเสถียรภาพดีกว่า และเสียงที่เกิดขึ้นระหว่างทำงานน้อยกว่าการระบายความร้อนแบบพัดลม ระบายอากาศ แต่ข้อเสียคือการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวมีความยุ่งยาก ต้องใช้อุปกรณ์ที่มาก ขึ้น และต้องมีพื้นที่ในการกักเก็บน้ำ

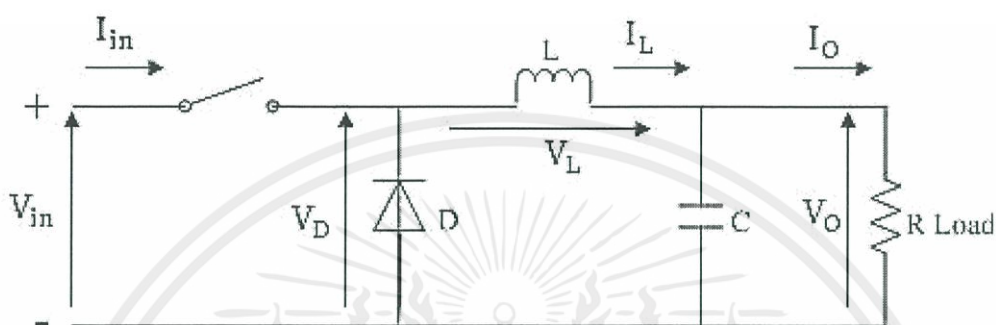


รูปที่ 2.14 ก้อนน้ำระบายความร้อน

ที่มา : การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเนอรั เรเตอร์ , 2560

2.3 วงจรลดระดับแรงดัน (Buck Converter)

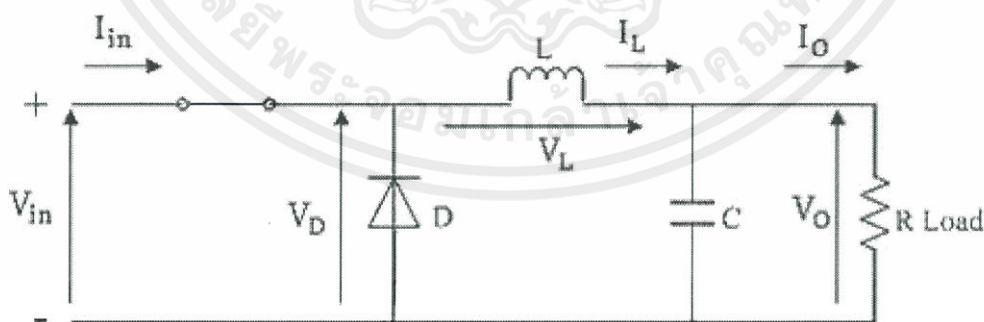
วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) เป็นวงจรที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อเหมาะสมกับการใช้งาน โดยโครงสร้างของวงจรจะประกอบด้วยสวิตช์ที่สามารถสั่งให้ “NO” หรือ “OFF” ได้ทุกขณะตามที่เราต้องการในทางปฏิบัติสวิตช์ที่ใช้ในวงจรจริงคืออุปกรณ์สวิตช์ซึ่งนอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีกคือ C ตัวเก็บประจุ, L ตัวเหนี่ยวนำ, D ไดโอดดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจร Buck Converter

ที่มา : dspace.spu.ac.th/bitstream/123456789/4690/5/บทที่_1-5.pdf

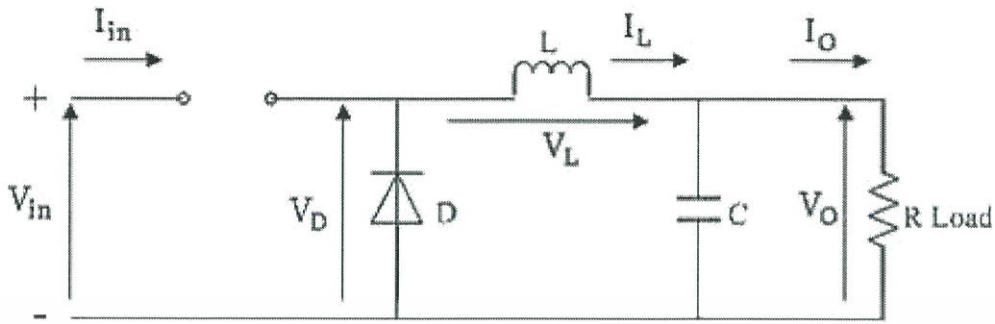
เมื่อวงจรประกอบด้วยสวิตช์ที่มีการ “ON” หรือ “OFF” ค่าของแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมบนอุปกรณ์ทุกตัวของทั้ง 2 สถานะนี้ จะต้องมิติศทางเดียวกันเสมอ มิฉะนั้นของแรงดันและกระแสจะไม่ถูกต้องจากรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 แสดงในสถานะ ON และ OFF



รูปที่ 2.16 Switch ที่สถานะ ON

ที่มา : dspace.spu.ac.th/bitstream/123456789/4690/5/บทที่_1-5.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

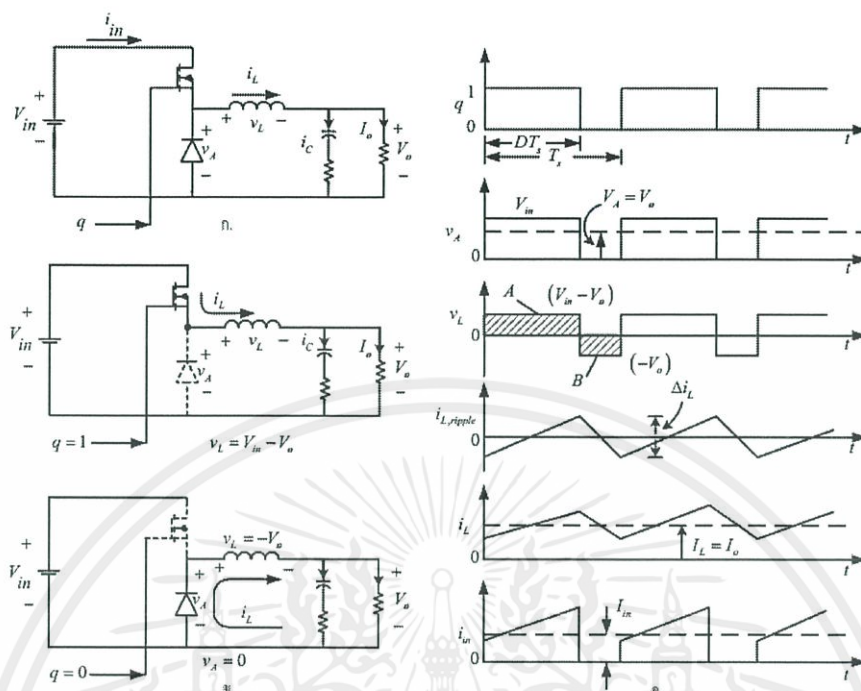


รูปที่ 2.17 Switch ที่สภาวะ OFF

ที่มา : dSPACE.spu.ac.th/bitstream/123456789/4690/5/บท_1-5.pdf

หลักการทํางาน เมื่อ SW ปิดวงจร กระแสจะไหลผ่านขดลวด L และโหลด RL ตามทิศทางดังรูป สังเกตไดโอด D ขณะนี้ได้รับไบแอสกลับ จนกระทั่ง SW เปิดวงจร เกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก เกิดพลังงานทำให้ไดโอด D ได้รับไบแอสตรงนำกระแสในทิศทางเดิมเกิดแรงดันตกคร่อม RL โดยมีขั้วเหมือนกับ อินพุท จากการทำงานของวงจรจะพบว่าถ้า SW มีการปิด-เปิดวงจรอย่างต่อเนื่อง จะทำให้กระแสที่เอาท์พุทมี แนวโน้มที่จะไหลได้ต่อเนื่อง

ในการวิเคราะห์ห้วงจรรนั้นเราสามารถหาค่าด้วยการคำนวณได้เช่นเดียวกับการทดลองในวงจร เมื่ออยู่ที่ สภาวะทํางานในวงจรต่างกัน และหากต้องการทราบค่าต่างๆของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ว่ามีแรงดันและ กระแสเท่าไร ที่ตำแหน่งต่างๆของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ได้ภาพที่ 2.18 ดังนี้



รูปที่ 2.18 แสดงการวิเคราะห์ในวงจรและกราฟแสดงผลที่สถานะคงตัว
 ก. วงจรบuckตัวแปรผัน ข. วงจรสมมูลในโหมดต่างๆ ค. รูปคลื่นแรงดันและกระแส
 ที่มา : dspace.spu.ac.th/bitstream/123456789/4690/5/บทท_1-5.pdf

จากรูปที่ 2.18 ทำให้เราทราบถึงการทำงานและนำมาเขียนเป็นสมการในการคำนวณหาค่าต่างๆจึงได้
 สมการในการคำนวณดังนี้

$$V_o = V_A = DV_{in}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_{in} - V_o}{V_L} DT_s = \frac{V_o}{L} (1 - D) T_s$$

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$V_{in} I_{in} = V_o I_o$$

$$I_{in} = D I_L = D I_o$$

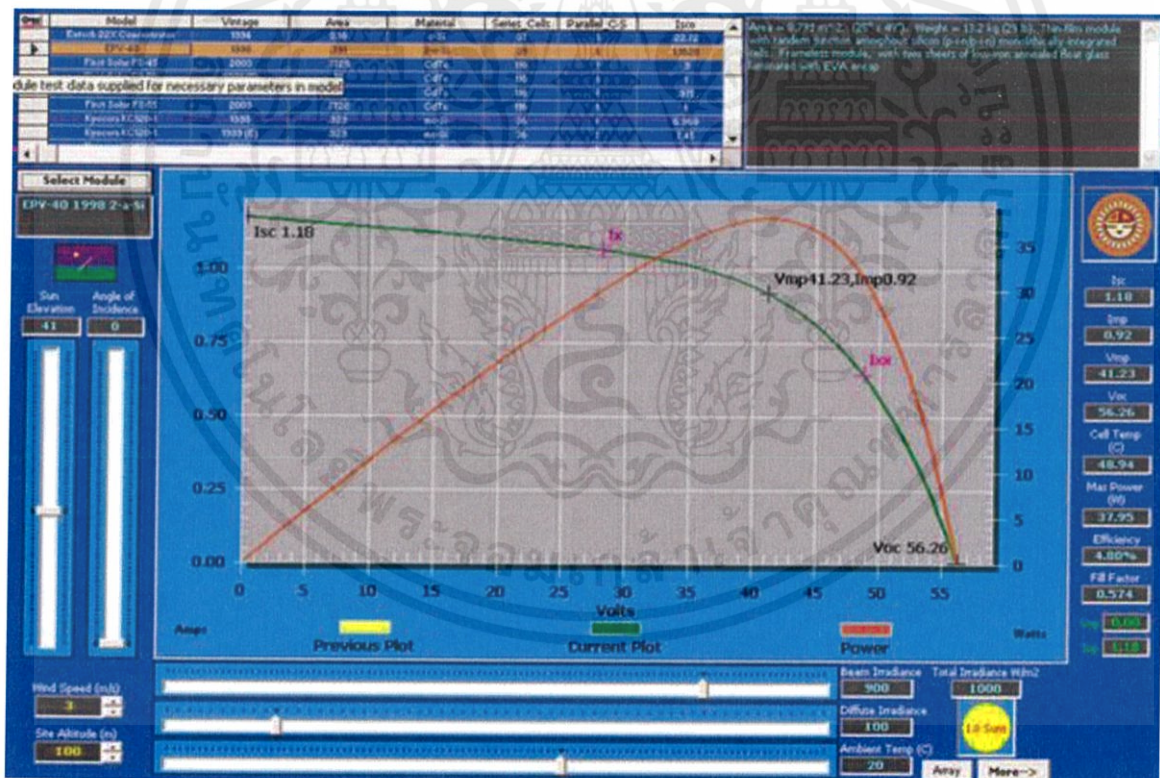
$$i_c(t) = i_{L,ripple}(t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Maximum Power Point Tracking

2.4.1 Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT หมายถึง ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบ MPPT ได้รับการออกแบบให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

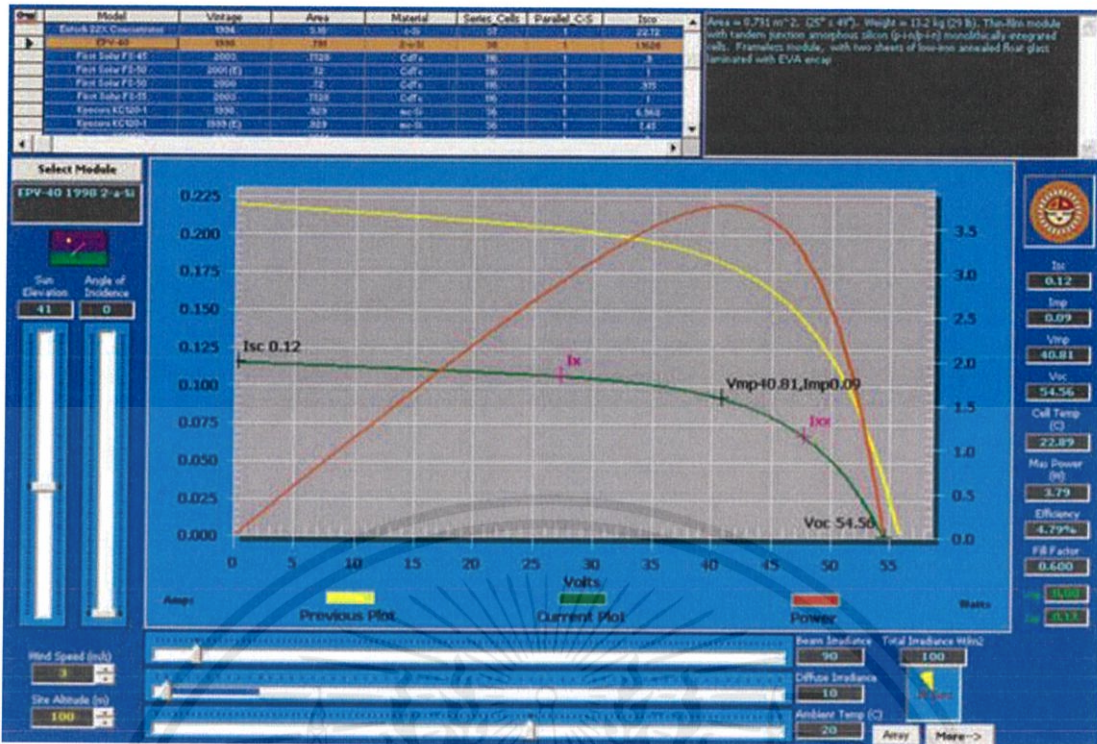
ด้วยขั้นตอนวิธีของ MPPT ที่จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกสูงกว่า จะย้ายจุดควบคุมไปยังแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น



รูปที่ 2.19 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve

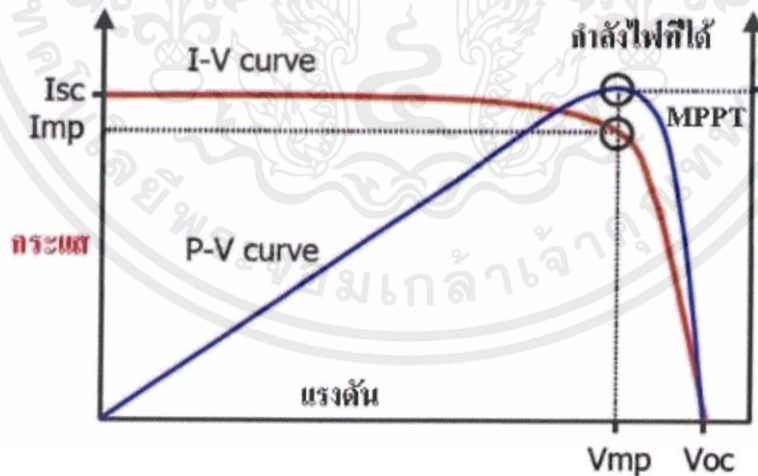
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt_basics01.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve

ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt_basics01.php



รูปที่ 2.21 จุดตัดที่ได้กำลังสูงสุดนั้นคือแรงดันและกระแสต้องไปด้วยกันแบบใกล้เคียงกันที่สุด

ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt_basics01.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักการทำงานของ Maximum Power Point Tracking

หลักการสำคัญของระบบ MPPT คือ ดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด กล่าวคือ

MPPT ทำงานโดยการตรวจสอบที่เอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุลงในแบตเตอรี่ และทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC load) ที่ต่อโดยตรงกับแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์ ที่ได้นำเอารูปแบบการคำนวณเพื่อหาจุดที่ได้กำลังสูงสุด โดยใช้การปรับแรงดัน และควบคุมกระแส (DC to DC Converter) แล้วนำมาคำนวณให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการชาร์จ หลังจากที่ได้เปรียบเทียบกับ พลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ยกตัวอย่างเช่น มีแผงโซลาร์เซลล์ 18V 130w $I_{mp}=7.2A$ ใช้งานกับแบตเตอรี่ 12V

กรณีที่ 1 ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ แบบธรรมดา

แบตเตอรี่จะเริ่มชาร์จไฟเมื่อมีแรงดันต่ำกว่า 12V และจะชาร์จด้วยกำลัง $12V \times 7.2A = 86.4w$ แต่ถ้าหากแบตเตอรี่มีไฟน้อย หรือเหลือไฟเพียง 10.5V เมื่อมีการชาร์จไฟ จะชาร์จด้วยกำลังเพียงแค่ $10.5V \times 7.2A = 75.6w$ เท่านั้น (แต่เราซื้อ แผงโซลาร์เซลล์ มาในราคา 130w?)

กรณีที่ 2 ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT

ตัวควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT จะใช้หลักการปรับแรงดันให้เหมาะสม จาก 18V เป็น 12V แล้วจ่ายกระแสในการชาร์จได้มากขึ้นจาก 7.2A เป็น $18V \times 7.2A / 12V = 10.8A$ หรือหากแบตเตอรี่เหลือไฟน้อย 10.5V ตัวควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT จะปรับแรงดันให้เหลือ 10.5V แล้วชาร์จด้วยกระแส $18V \times 7.2A / 10.5V = 12.3A$ นั่นทำให้ยังคงจ่ายไฟได้ใกล้เคียง 130w เหมือนเดิม จึงทำให้ชาร์จไฟได้เร็วขึ้นด้วย

ระบบ MPPT มีประสิทธิภาพสูงหากทำงานภายใต้สภาวะเหล่านี้

1. สภาวะอากาศเย็นหรือฤดูหนาว โดยปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ในช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศเย็น จะมีช่วงเวลาการตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Sun hours) น้อย หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยระบบ MPPT จะทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากยิ่งขึ้นไปอีก แต่จะมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก

2. สภาวะที่มีการประจุแบตเตอรี่ต่ำ เนื่องจากยังมีอัตราการประจุแบตเตอรี่ต่ำ จะทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ MPPT มากขึ้น

3. ในกรณีที่แผงโซลาร์เซลล์อยู่ห่างจากแบตเตอรี่ มากๆ หากเป็นระบบ 12V แล้วใช้อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบบธรรมดา เมื่อใช้สายไฟขนาดเล็กเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก หรืออาจจะต้องใช้สายไฟที่มีขนาดใหญ่ นั่นก็ย่อมมีราคาสูง

วิธีแก้ไขก็คืออาจจะต้องใช้ แผงโซลาร์เซลล์ มาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้มีแรงดันสูงขึ้น หรือไม่ก็หันมาใช้ตัวอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT มาช่วยควบคุมระดับแรงดันในการชาร์จ จะทำให้สามารถลดขนาดสายไฟลงได้

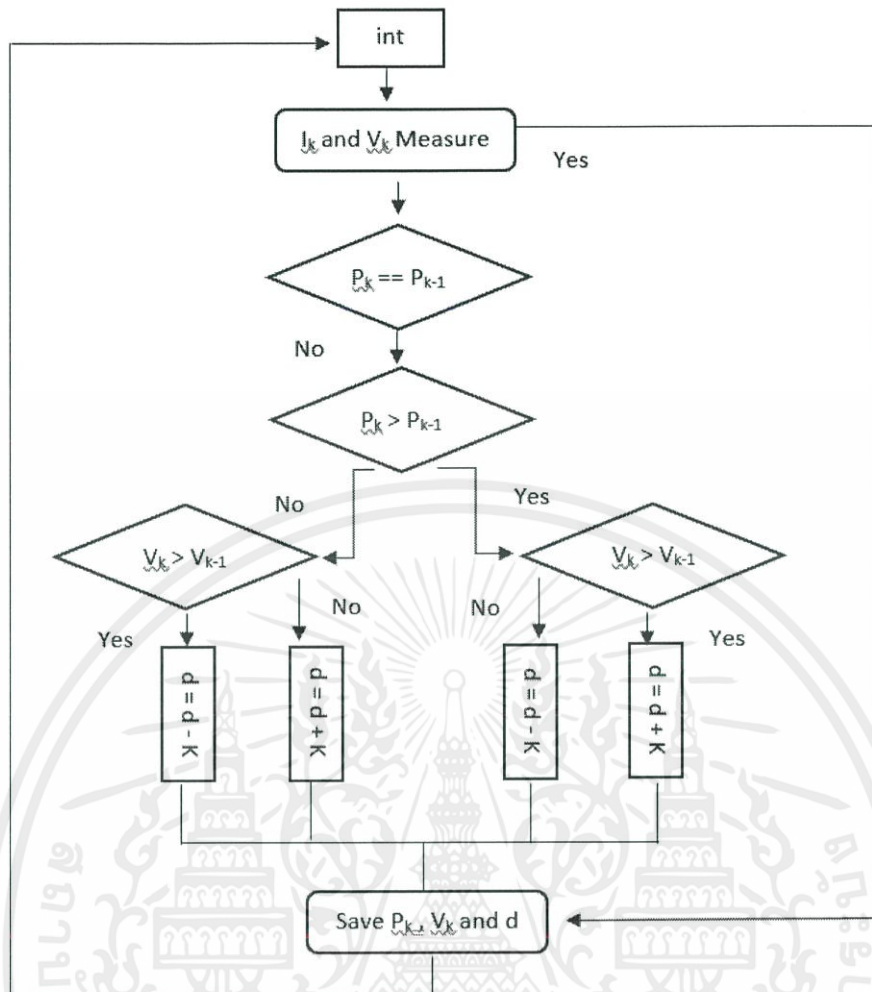
2.5 เทคนิค Perturb and Observe (P&O)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เทคนิค P&O จะเป็นการปรับค่าแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปในทิศทางที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เมื่อถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด(จุดยอด)ค่าแรงดันยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั่นเอง

ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันครั้งต่อไป
เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม
เพิ่ม	ลด	ลด
ลด	เพิ่ม	ลด
ลด	ลด	เพิ่ม

ตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O

จากตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O จะเห็นว่าถ้าหากกำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงไปจากเดิม ระบบจะเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันไปในทิศตรงกันข้ามทั้งนี้ก็เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั่นเอง เนื่องจากกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปซ้ำมา จนในที่สุดค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะแกว่งอยู่รอบๆจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งสามารถลดค่าการแกว่งนี้ได้โดยการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ΔV) อย่างไรก็ตามการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้การลู่เข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดช้าลง แนวทางการแก้ปัญหาหนึ่งที่จะจัดการกับปัญหานี้ก็คือทำให้มีขนาดของ ΔV ที่เปลี่ยนแปลงได้โดยให้ค่า ΔV น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 2.22 รูปแบบการทำงานของ P&O algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

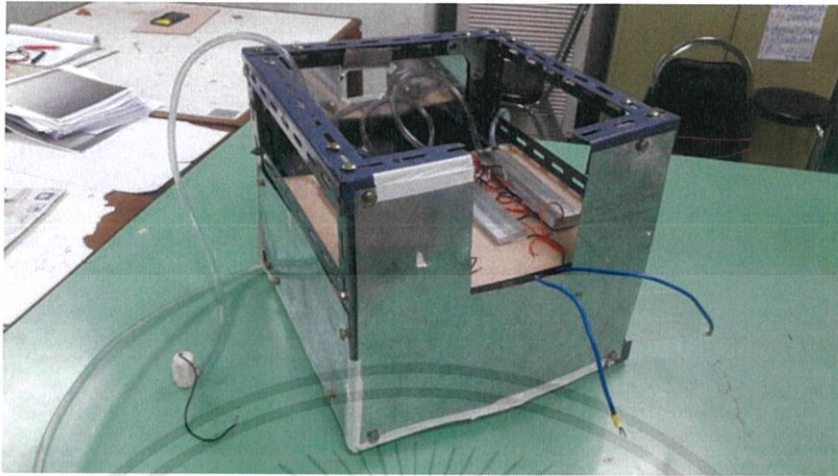
ในการศึกษาทดลองครั้งนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองตอน โดยตอนที่ 1 เป็นการทดสอบการผลิต กระแส แรงดัน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ เพื่อหาค่า Maximum Power Point ที่สามารถผลิตออกมาได้และในตอนที่ 2 เป็นการทดสอบวงจร MPPT Control ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและ ประดิษฐ์ขึ้นมาประยุกต์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อนำไปชาร์ตแรงดันให้โหลดทดสอบ นั่นคือ แบตเตอรี่ขนาด 3.7 V

ตอนที่ 1 ทดสอบการผลิตกระแส แรงดัน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	1	เครื่อง
3.1.2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก	1	เครื่อง
3.1.3	DC Supply	1	เครื่อง
3.1.4	มอเตอร์ปั้มน้ำขนาด 5 A	1	ตัว
3.1.5	กล่องพลาสติกใส	1	กล่อง
3.1.6	Multimeter	1	เครื่อง
3.1.7	Ampere Meter	1	เครื่อง
3.1.8	Oscilloscope	1	เครื่อง

หมายเหตุ : ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กประกอบไปด้วย หลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ 100 W 6 หลอด ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายของอุณหภูมิความร้อนและ TEG Module จำนวน 17 โมดูล ในการวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ทำการปรับปรุงใหม่



รูปที่ 3.2 แหล่งจ่ายอุณหภูมิต้านร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดและแหล่งจ่ายไฟฟ้าในการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการทดลอง ตอนที่ 1

3.2.1 ทำการเติมน้ำเย็นอุณหภูมิห้องให้พอเหมาะสำหรับเป็นชุดจำลองอุณหภูมิด้านเย็น ทำการติดตั้งมอเตอร์ป้อนน้ำกับสายยางซิลิโคนจาก cooling water box แล้ววางไว้ในกล่องพลาสติกใส

3.2.2 ทำการปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับให้ได้ 240 V โดยใช้ Multimeter วัดค่าเพื่อความแม่นยำ แล้วรอสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอดไฟที่ติดตั้งภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดย Thermal Sensor ที่ควบคุมโดยแผงวงจรของ Arduino ที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมาสะดวกต่อการทดสอบในครั้งนี้

3.2.3 สังเกตเมื่ออุณหภูมิทั้งสองฝั่งมีความแตกต่างกันประมาณ 60 °C เป็นต้นไปให้ทำการบันทึกผลกระแส แรงดัน ที่ R ปรับค่าได้ ตั้งแต่ 0.5 – 1M โอห์ม และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ากำลัง จากสมการ $P = IV$ และสร้างกราฟ I-V characteristic curve , P-V characteristic curve และ I-P characteristic curve เพื่อสังเกตพฤติกรรมของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กก่อนนำวงจร MPPT Control มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.4 การตรวจวัดอุณหภูมิทั้งสองด้านจากแผงวงจร Thermal Sensor ผ่าน Arduino

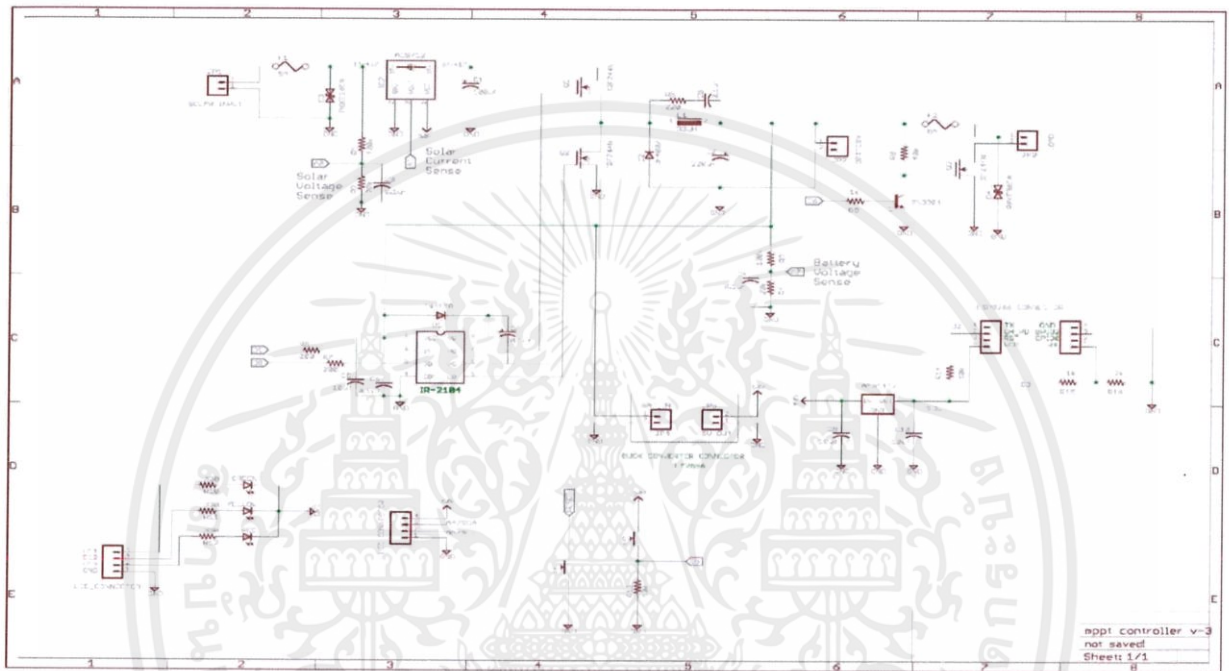


รูปที่ 3.5 การวัดค่าของกระแส แรงดัน ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การทดสอบการทำงานของวงจร MPPT Control

ในการประดิษฐ์วงจร MPPT Control นั้น มีขั้นตอนที่ค่อนข้างจะซับซ้อนและวัสดุที่ใช้ค่อนข้างละเอียดดยิบย่อย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะออกแบบวงจร MPPT Control อย่างเรียบง่ายและสะดวกต่อการใช้งานและผู้ที่น่าไปศึกษาต่อตามรูปที่ 3.6 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การออกแบบวงจร MPPT Control ที่ประดิษฐ์ใช้ในการทดสอบ

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์วงจร

- | | | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 3.3.1 Arduino nano | 3.3.2 Current sensor | 3.3.3 Buck converter |
| 3.3.4 LCD display | 3.3.5 MOSFETs | 3.3.6 MOSFET driver |
| 3.3.7 3.3V linear regulator | 3.3.8 Transistor | 3.3.9 Diodes |
| 3.3.10 TVS diodes | 3.3.11 Resistors | 3.3.12 Capacitors |
| 3.3.13 Inductor | 3.3.14 LEDs | 3.3.15 Prototype board |
| 3.3.16 Fuses | 3.3.17 Heat sinks | 3.3.18 Li-Po Battery 3.7V 1.35A |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนทดสอบ ตอนที่ 2

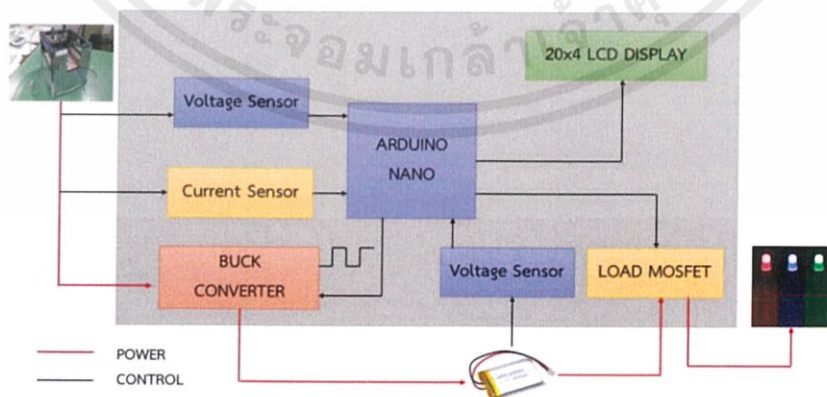
3.4.1 ทำการเชื่อมต่อวงจร MPPT Control ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 17 โมดูล โดยจำลองความแตกต่างของอุณหภูมิ 60 - 70°C ด้วย DC Supply จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการทดสอบการทำงานของวงจร MPPT Control

3.4.2 ทำการเชื่อมต่อวงจร MPPT Control เข้ากับ แบตเตอรี่ 3.7 V สังเกตหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งได้แสดงผลของค่า กระแส แรงดัน และกำลังสูงสุด ที่ผลิตออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ขณะกำลังจ่ายแรงดันให้กับแบตเตอรี่ และทำการทดสอบโดยใช้ขนาด ΔT ที่แตกต่างกันไปแล้วทำการบันทึกผลพฤติกรรม



รูปที่ 3.7 การประดิษฐ์วงจร MPPT Control ที่ใช้ในการทดสอบ

ARDUINO TEG CHARGE CONTROLLER (MPPT)



รูปที่ 3.8 กระบวนการทำงานของวงจร MPPT Control ที่ได้ประดิษฐ์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ และการประเมินผล

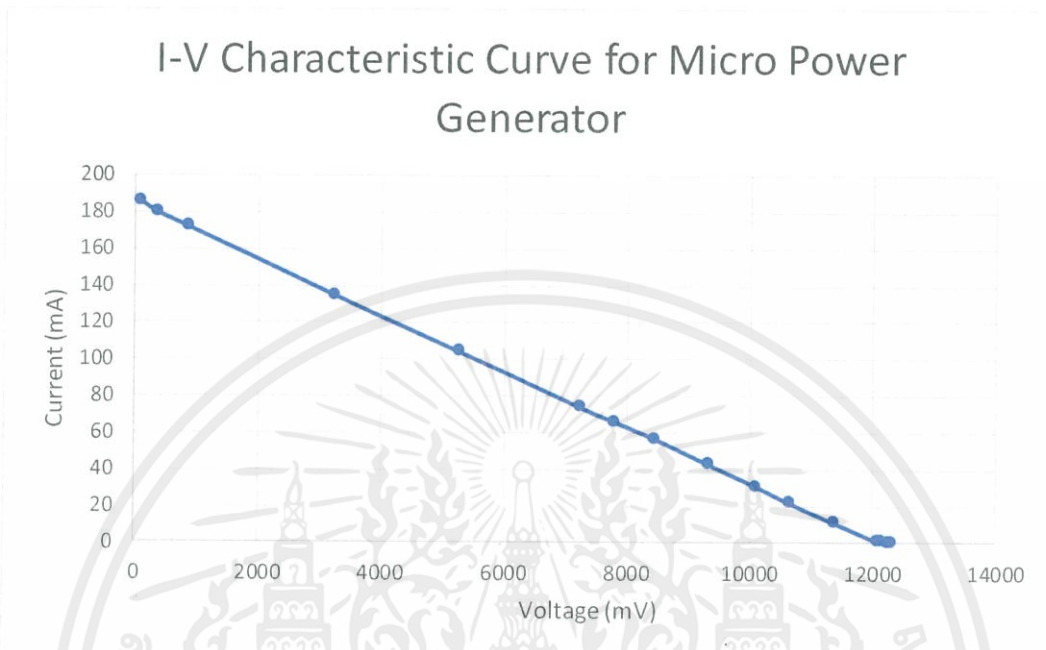
4.1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 17 โมดูล

4.1.1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 17 โมดูล ที่ผลต่างอุณหภูมิ 62.98 °C โดยที่อุณหภูมิด้านร้อน 70.3 °C และอุณหภูมิด้านเย็น 7.32 °C

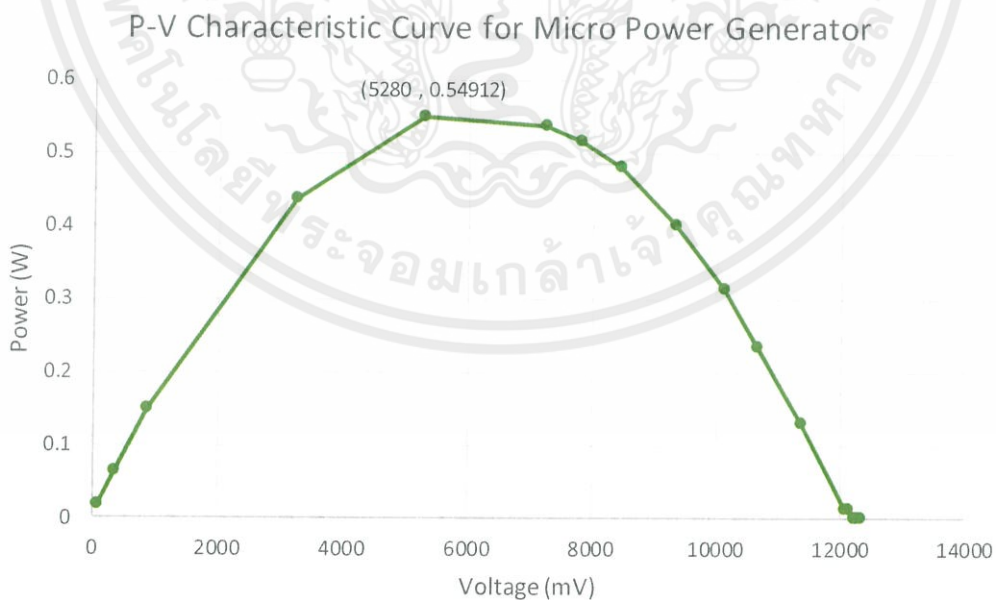
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังที่ถูกผลิตออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ผลต่างอุณหภูมิ 62.98 °C สำหรับ 17 โมดูล

R(Ω)	V(mV)	I(mA)	P(W)
0.5	92	186	0.017112
2	358.4	180	0.064512
5	871	172	0.149812
24	3241	135	0.437535
51	5280	104	0.54912
100	7250	74	0.5365
120	7810	66	0.51546
150	8450	57	0.48165
220	9330	43	0.40119
331	10110	31	0.31341
470	10660	22	0.23452
1000	11380	11.4	0.129732
9840	12080	1.2	0.014496
9950	12140	1.2	0.014568
99600	12230	0.12	0.001468
100000	12260	0.12	0.001471
200000	12280	0.06	0.000737
1000000	12320	0.01	0.000123

4.1.2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic Curve) และกราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

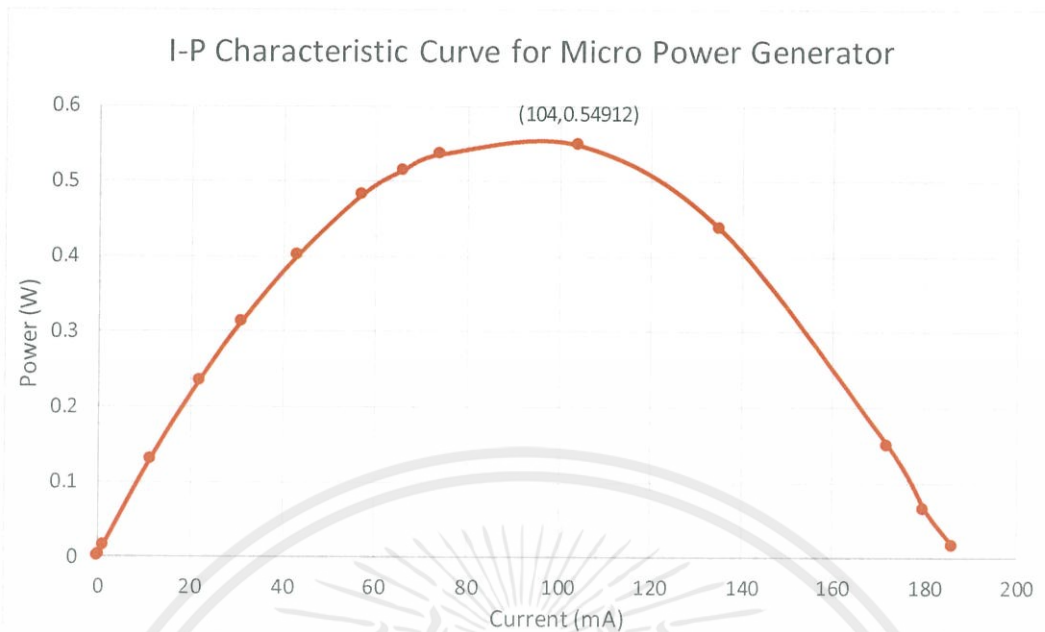


รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก



รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะกระแสกำลังไฟฟ้า จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

จากรูปที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 ตามลำดับมาทำการวิเคราะห์และพิจารณาหาค่า Short Circuit , Open Circuit และ Maximum Power ของการทดสอบนี้ได้ตามตารางที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังไฟฟ้า Short Circuit ที่ $\Delta T = 62.98 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

ΔT	I(A)	V(V)	R(Ohm)	P(W)
62.98	0.186	0.092	0.5	0.0171

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังไฟฟ้า Open Circuit ที่ $\Delta T = 62.98 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

ΔT	I(mA)	V(V)	R(Ohm)	P(W)
62.98	0.01	12.32	1M	0.0001

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ $\Delta T = 62.98 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

ΔT	I(A)	V(V)	R(Ohm)	P(W)
62.98	0.104	5.28	51	0.5491

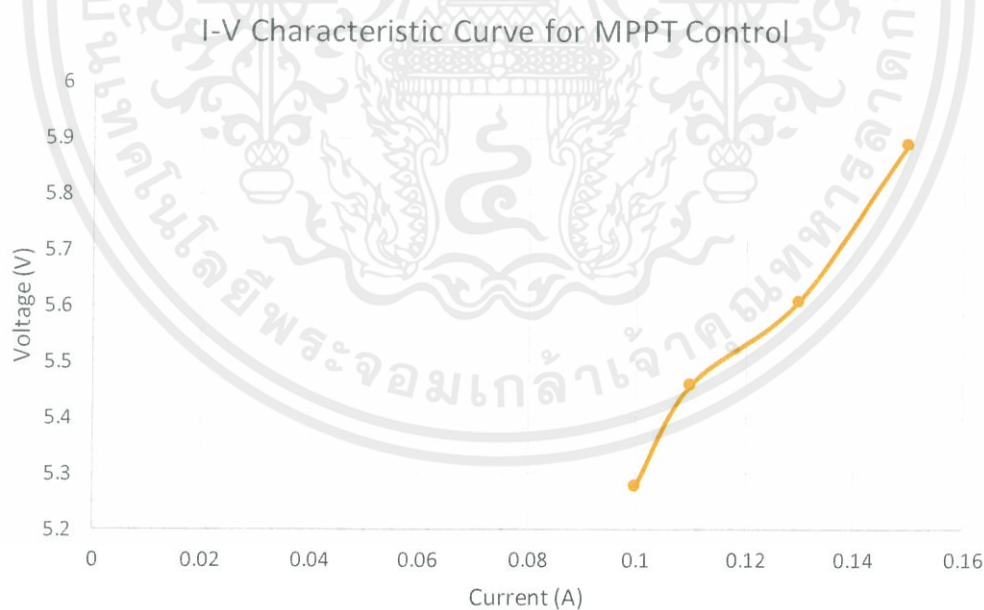
4.2 ผลการทดสอบ วงจร MPPT Control กับแบตเตอรี่รี 3.7 V

4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานชาร์ตแรงดันของวงจร MPPT Control ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมา จะแสดงค่ากระแส แรงดัน และกำลังสูงสุด ผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ดังตารางที่ 4.5 ต่อไปนี้

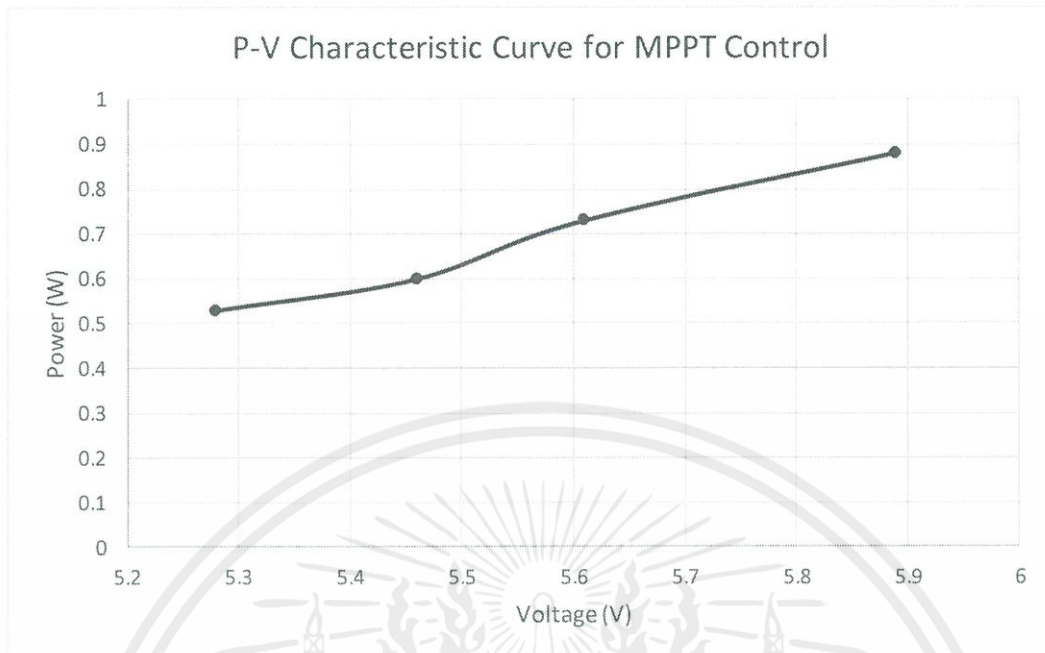
ตารางที่ 4.5 ค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลัง ที่ $\Delta T = 60 - 70$ °C สำหรับการทดสอบ วงจร MPPT Control

ΔT	I(A)	V(V)	P(W)
62.98	0.10	5.28	0.53
64.13	0.11	5.46	0.60
67.65	0.13	5.61	0.73
69.32	0.15	5.89	0.88

4.2.2 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic Curve) และกราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้า ของวงจร MPPT Control ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบวงจร MPPT Control



รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบวงจร MPPT Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ข้อจำกัดของการทดลอง

5.1.1 ชุดจำลองอุณหภูมิด้านร้อนของการทดสอบ

การจำลองอุณหภูมิด้านร้อนในการทดสอบเป็นการจำลองอุณหภูมิโดยใช้ความร้อนที่แผ่ออกมาจากหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์จำนวน 6 หลอด ซึ่งด้วยวิธีการจำลองนี้มีข้อจำกัดคือทำให้อุณหภูมิที่สามารถทำได้นั้นถูกจำกัดด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหลอดไฟ ซึ่งเพื่อความปลอดภัยของผู้ทดลองและอุปกรณ์การทดสอบจึงมีการจำกัดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับหลอดไฟมีค่าไม่เกิน 240 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่หลอดอินแคนเดสเซนต์สามารถรับได้ เพื่อที่จะต้องการอุณหภูมิด้านร้อนสูงสุดที่สามารถทำได้ในสภาวะห้องทดสอบที่มีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 70 °C และชุดจำลองนี้มีข้อจำกัดในเรื่องการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซึ่งควบคุมได้ยาก ทำให้มีข้อจำกัดในการเลือกค่าอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบมีจำนวนค่าที่น้อย เพราะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีค่าที่ไม่ละเอียด

5.1.2 ชุดระบายความร้อนเพื่อคงที่อุณหภูมิด้านเย็น

ข้อจำกัดในเรื่องความแตกต่างของอุณหภูมิที่สามารถทดสอบได้เนื่องจากการให้ความร้อนในด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จะเกิดการถ่ายเทความร้อนมายังด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ส่งผลให้ต้องมีการทำระบบระบายความร้อนในด้านเย็นเพื่อให้มีความคงที่ของอุณหภูมิด้านเย็นมากที่สุด แต่การเพิ่มความร้อนที่มากขึ้นในด้านร้อนมีการส่งผลให้อุณหภูมิด้านเย็นเพิ่มขึ้นเช่นกันและการระบายความร้อนวิธีที่ใช้โดยการเติมน้ำแข็งลงถังน้ำเย็นส่งผลกระทบให้อุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นโมดูลลดลงอีกด้วย ทำให้การควบคุมอุณหภูมิเพื่อการทดสอบทำได้ยาก จึงทำให้การทดสอบจำลองความแตกต่างของอุณหภูมิได้ไม่หลากหลาย

5.1.3 เครื่องมือการวัดและบันทึกค่าผลการทดสอบ

ข้อจำกัดในการวัดอุณหภูมิเนื่องจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิไม่สามารถวัดที่ผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้โดยตรงเนื่องจากมีอุปกรณ์อื่นติดตั้งบริเวณผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทำให้การวัดอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบจะใช้วิธีการวัดอุณหภูมิรอบบริเวณเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแล้วหาค่าเฉลี่ยทั้งด้านร้อนและเย็นซึ่งอาจมีการคลาดเคลื่อนเนื่องจากระบบระบายความร้อนหรืออุณหภูมิภายนอก ซึ่งมีผลกระทบกับผิวของโลหะด้านร้อนที่ไม่ถูกบดบังด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีค่าต่ำกว่าบริเวณผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กโดยทำขึ้นจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 17 โมดูล ซึ่งนำมาต่ออนุกรมกัน แต่มีการปรับปรุงระบบให้ความร้อนและระบบระบายความร้อนของชุดผลิตไฟฟ้า ดังนี้

ด้านร้อนของชุดผลิตไฟฟ้าใช้ฮีทซิงค์ติดที่ด้านร้อนของแต่ละโมดูลทั้ง 17 โมดูล เพื่อเป็นจุดดูดซับความร้อนและ เพิ่มแหล่งจ่ายด้านร้อนเป็นหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ ขนาด 100 W จากเดิม 4 หลอด เป็น 6 หลอด ซึ่งทำให้ความร้อนถูกดูดซับไว้นานและมากขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพในด้านร้อนของชุดเครื่องกำเนิด

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถเริ่มทำการจ่าย กระแส แรงดัน ได้เมื่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นต้นไป โดยในการทดสอบครั้งนี้ ได้ อุณหภูมิด้านร้อนเป็น $70.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิด้านเย็นเป็น $7.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นจะได้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ สองฝั่งในครั้งนี้เป็น $62.98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้า short circuit , open circuit และ maximum power ที่ผลิตได้มีค่าเป็น 0.0171 W , 0.0001 W และ 0.5491 W ที่โหลดความต้านทาน 0.5 , 1M และ 51 โอห์ม ตามลำดับ

จากนั้นได้ใช้วงจร Mppt Control ที่ทางผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมาไปทดสอบ เพื่อตรวจสอบค่า กระแส แรงดัน กำลัง ที่สามารถผลิตออกมาได้สูงสุดเพื่อที่จะนำไปชาร์ตแรงดันให้กับโหลดทดสอบนั่นคือ แบตเตอรี่ขนาด 3.7 V ผลการทดสอบที่ได้คือ สามารถทำการชาร์ตได้สำเร็จจึงได้นำไปทดสอบกับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆพบว่าสามารถใช้งานได้จริง โดยค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลัง ที่ได้แสดงบนหน้า จอมอนิเตอร์นั้น จะมีค่าเท่ากับค่ากำลังสูงสุดในตารางที่ 4.5 ซึ่งก็คือค่ากำลังสูงสุดที่ผลิตออกมาได้จากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วงจร MPPT Control นั้นคือการแสดงค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลังที่ผลิตได้เท่านั้น สังเกตได้จากพฤติกรรมความต่อเนื่อง Tracking จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ เพื่อช่วยลดจำนวนอุปกรณ์วัดและระยะเวลาในการทดสอบ โดยไม่ได้มีผลทำให้ค่าที่กล่าวมามีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ร่วมกับเทคโนโลยี MPPT Control สามารถนำไปปรับใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคต

5.3 ข้อเสนอแนะในการต่อยอดโครงการ

5.3.1. ปรับปรุงโมดูลของทางด้านที่เป็นแหล่งความร้อนและความเย็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้มากกว่าเดิม โดย ด้านอุณหภูมิฝั่งร้อน (Heat Source) ทำการเพิ่มจำนวนฮีทซิงค์และหลอดไฟที่เป็นแหล่งจ่ายความร้อนให้มากกว่าเดิม เช่น เพิ่มจำนวน TEG Module เป็น 20 โมดูล เพิ่มหลอดไฟขนาด 100 W เป็นจำนวน 8 หลอด และด้านอุณหภูมิฝั่งเย็น (Cooling) ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวปั๊มน้ำโดยใช้ตัวปั๊มน้ำใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากแนวคิดนี้คาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กได้ดียิ่งขึ้นต่อการใช้งานภายในอนาคต

5.3.2. ปรับปรุงการวัดค่าอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมักมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อความแม่นยำจำเป็นต้องรู้ค่าของอุณหภูมิที่แน่นอนในขณะที่ทำการวัดค่าอื่นๆด้วย ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่มีความเสถียร มีความไวในการวัดค่าที่สูงขึ้น หรือสามารถติดตั้งแนบชิดกับตัว heat sink และ cooling water box โดยที่ไม่เกิดความเสียหายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดลงมากเกินไป จะทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยลงและถูกต้องมากขึ้น

5.3.3. การนำไปใช้งานในพื้นที่จริงจัดหาแหล่งความร้อนที่มีคุณภาพที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าและทำการออกแบบชุดติดตั้งในพื้นที่แหล่งความร้อนจริง เพื่อทดสอบและบันทึกผลเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงพัฒนาในการใช้งานในพื้นที่จริงให้เหมาะสมและใช้งานได้ดียิ่งขึ้นและปลอดภัยเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1]. นางสาวชวรรณ จันทนาภรณ์ และคณะ. (2560). “การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (An Application of Thermoelectric Generator (TEG) as Micro Power Generator from Waste Heat)”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 5-18
- [2]. Dspace SPU โดย คุณทองรุ่ง เมืองมีศรี. (2553). “โครงการชุดจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Simulator)”, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 4-6, วันที่สืบค้น 23 พฤศจิกายน 2561, เว็บไซต์ : dspace.spu.ac.th/bitstream/123456789/4690/5/บทท_1-5.pdf
- [3]. LEONICS. (2559). “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller”, วันที่สืบค้น 23 พฤศจิกายน 2561, เว็บไซต์ : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/mppt_basics01.php
- [4]. Ghislain REMY and team. (2556). “Review of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems”, Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEP), วันที่สืบค้น 7 กุมภาพันธ์ 2562
- [5]. Open Green Energy. (2558). “ARDUINO MPPT SOLAR CHARGE CONTROLLER (Version-3.0)”, วันที่สืบค้น 22 มีนาคม 2562, เว็บไซต์ : <https://www.instructables.com/id/ARDUINO-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-Version-30/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากอุปกรณ์ TEG

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator

ณัฐภัทร์ สิทธิสวัสดิ์¹, ปรีดี คงไทย¹, สมัชชา ประสงค์สุข¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹ซอย ลอดกระบัง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ ที่ประยุกต์ใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) ในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากการใช้ความร้อนเหลือทิ้ง โดยได้เขียนโปรแกรมและประดิษฐ์วงจรควบคุม Maximum Power Point Tracking (MPPT) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพอุปกรณ์นี้ให้สูงขึ้นกว่าเดิม โดยมีการเพิ่ม TEG Module จาก 10 โมดูล เป็น 17 โมดูล เพิ่มแหล่งจ่ายอุณหภูมิด้านร้อนเป็น หลอดไฟ ขนาด 100 W จำนวน 6 หลอด โดยมีการป้อนแรงดันกระแสสลับที่ 240 V ในการวิจัยครั้งนี้ เริ่มทำการวัดกระแส แรงดัน ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยประมาณประมาณ 60 - 70 °C ซึ่งจากการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิด้านร้อนเป็น 70.3 °C และอุณหภูมิด้านเย็นเป็น 7.32 °C ดังนั้นจะได้ความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 62.98 °C ทำการวัดค่ากระแส แรงดัน ที่ผลิตได้แล้วนำไปสร้างกราฟคุณลักษณะของกระแส - แรงดัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและทำการหาค่ากำลังของ short circuit , open circuit และ maximum power ที่ผลิตได้จากกราฟคุณลักษณะข้างต้น ซึ่งมีค่าเป็น 0.0171 W, 0.0001 W และ 0.5491 W ที่โหลดความต้านทาน 0.5 , 1M และ 51 โอห์ม ตามลำดับ ในขั้นตอนถัดไปได้้นำมาใช้งานกับวงจร Mppt Control ชนิด Buck Converter เพื่อชาร์จแรงดันเข้าแบตเตอรี่รีขนาด 3.7 V ผลการทดสอบที่ได้คือ สามารถทำการชาร์จได้สำเร็จ จึงได้นำไปทดสอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆพบว่าสามารถใช้งานได้จริง ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ร่วมกับเทคโนโลยี MPPT Control สามารถนำไปปรับใช้ประโยชน์ได้จริง

คำสำคัญ : Mppt Control , ค่ากำลังสูงสุด

Abstract

This thesis is a study of electrical production behavior of thermoelectric generators. Which applied thermoelectric material (TEG) to create a micro power generator from waste heat by programming and inventing the Maximum Power Point Tracking (MPPT) circuit. The efficiency of this device is improved by adding TEG Module from 10 modules to 17 modules, adding hot temperature supply sources as 600 W light bulbs with AC voltage input at 240 V. We start measuring the current and voltage produced from a micro power generator at a temperature difference of approximately 60 - 70 °C. The testing result , the heating side temperature is 70.3 °C and the cooling side temperature is 7.32 °C. So the temperature difference is at 62.98 °C. Measure the voltage and current produced then create the current-voltage characteristic graph. Which has value of 0.0171 W, 0.0001 W and 0.5491 W that load resistance 0.5, 1M and 51 ohms respectively. The next step is to use the Buck Converter type of Mppt Control circuit to charge the battery voltage 3.7 V. The result of the test is available successfully, therefore being tested with various electronic devices found that it can actually useful. So it can be considered that the power generator has been modified combine with MPPT Control technology can be used to be practical.

Keywords : Mppt Control , Maximum Power Point

1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

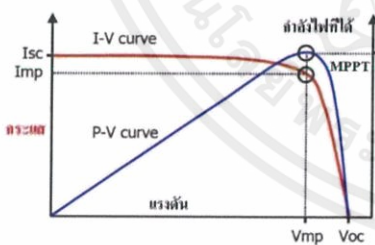
ในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานสะอาดเพิ่มขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกจึงเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากใช้พลังงานความร้อนที่ต่ำ มีการบำรุงรักษาน้อย ไม่ส่งเสียงดังรบกวนการทำงาน จึงเป็นตัวเลือกวัสดุที่ดีที่สุดนำมาสร้าง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยได้ใช้ความรู้เกี่ยวกับ Maximum Power Point Tracking (MPPT) มาประดิษฐ์สร้างวงจร Mppt Control เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ TEG โดยดึงค่ากระแส แรงดัน กำลังสูงสุดที่ได้จาก TEG ออกมาใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อความสะดวกสบาย รวดเร็วแก่ผู้ใช้งาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

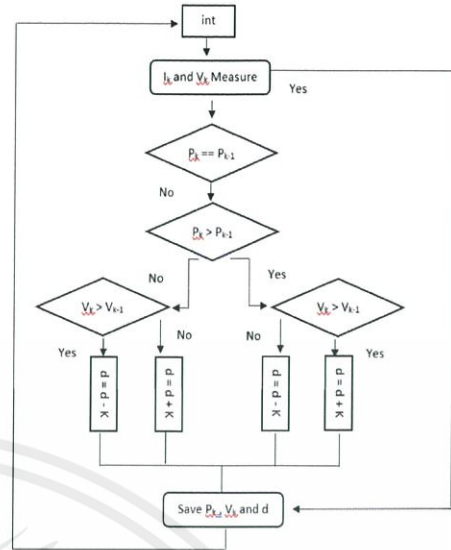
2.1 Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT หมายถึง ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบ MPPT ได้รับการออกแบบให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

ด้วยขั้นตอนวิธีของ MPPT จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าออกสูงกว่า จะย้ายจุดควบคุมไปยังแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าออกของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น



รูปที่ 2.1 จุดตัดที่ได้กำลังสูงสุดนั้นคือแรงดันและกระแสต้องไปด้วยกันแบบใกล้เคียงกันที่สุด

2.2 เทคนิค Perturb and Observe (P&O) เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เทคนิค P&O จะเป็นการปรับค่าแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปในทิศทางที่ กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เมื่อถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด(จุดยอด)ค่าแรงดันยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั่นเอง



รูปที่ 2.2 รูปแบบการทำงานของ P&O algorithm

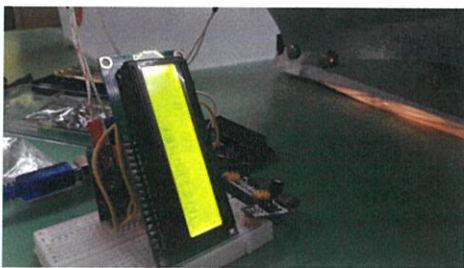
3. วิธีการออกแบบและการทดสอบ

ในการศึกษาทดลองครั้งนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองตอน โดยตอนที่ 1 เป็นการทดสอบการผลิต กระแส แรงดัน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ เพื่อหาค่า Maximum Power Point ที่สามารถผลิตออกมาได้และในตอนที่ 2 เป็นการทดสอบวงจร MPPT Control ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าและประดิษฐ์ขึ้นมาประยุกต์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อนำไปชาร์ตแบตเตอรี่ให้หลอดทดสอบ นั่นคือ แบตเตอรี่ขนาด 3.7 V

ตอนที่ 1 ทดสอบการผลิตกระแส แรงดัน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

3.1.1 ทำการเติมน้ำเย็นอุณหภูมิห้องให้พอเหมาะสำหรับเป็นชุดจำลองอุณหภูมิด้านเย็น ทำการติดตั้งมอเตอร์ปั้มน้ำกับสายยางซีลีโคนจาก cooling water box แล้ววางไว้ในกล่องพลาสติกใส

3.1.2 ทำการปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับให้ได้ 240 V โดยใช้ Multimeter วัดค่าเพื่อความแม่นยำ แล้วรอสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอดไฟที่ติดตั้งภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดย Thermal Sensor ที่ควบคุมโดยแผงวงจรของ Arduino ที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมาสะดวกต่อการทดสอบในครั้งนี้



รูปที่ 3.1 การตรวจวัดอุณหภูมิทั้งสองด้านจากแผงวงจร Thermal Sensor ผ่าน Arduino

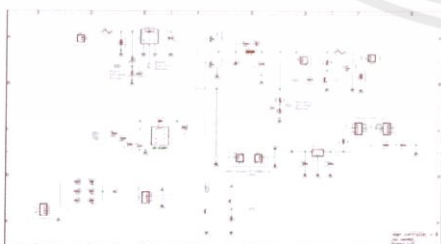
3.1.3 สังเกตเมื่ออุณหภูมิทั้งสองฝั่งมีความแตกต่างกัน ประมาณ 60°C เป็นต้นไปให้ทำการบันทึกผล กระแส แรงดัน ที่ R ปรับค่าได้ ตั้งแต่ $0.5 - 1\text{M}$ โอห์ม และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า กำลัง จากสมการ $P = IV$ และสร้างกราฟ I-V characteristic curve , P-V characteristic curve และ I-P characteristic curve เพื่อสังเกต พฤติกรรมของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กก่อนนำ วงจร MPPT Control มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.2 การวัดค่าของกระแส แรงดัน ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าขนาดเล็ก

ตอนที่ 2 การทดสอบการทำงานของวงจร MPPT Control

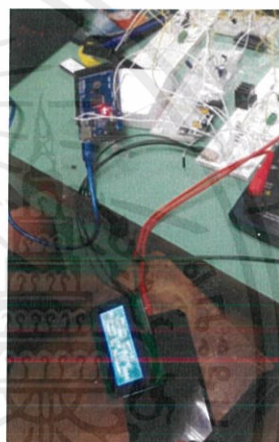
ในการประดิษฐ์วงจร MPPT Control นั้น มีขั้นตอนที่ ก่อนข้างจะซับซ้อนและวัสดุที่ใช้ค่อนข้างละเอียดพิถีพิถัน ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะออกแบบวงจร MPPT Control อย่างเรียบง่าย และสะดวกต่อการใช้งานและผู้ที่ไม่ได้ศึกษาต่อตามรูปที่ 3.3 ดังต่อไปนี้



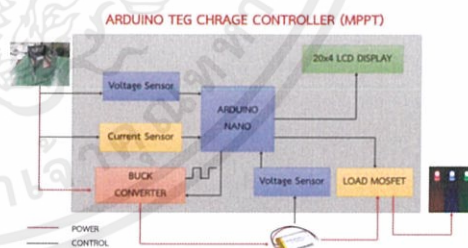
รูปที่ 3.3 การออกแบบวงจร MPPT Control ที่ประดิษฐ์ใช้ในการ ทดสอบ

3.2.1 ทำการเชื่อมต่อวงจร MPPT Control ที่ได้ ประดิษฐ์ขึ้นมากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 17 โมดูล โดย จำลองความแตกต่างของอุณหภูมิ $60 - 90^{\circ}\text{C}$ ด้วย DC Supply จ่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการทดสอบการทำงานของวงจร MPPT Control

3.2.2 ทำการเชื่อมต่อวงจร MPPT Control เข้ากับ แบต เตอร์รี 3.7 V สังเกตหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งได้แสดงผลของค่า กระแส แรงดัน และกำลังสูงสุด ที่ผลิตออกมาจากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าขนาดเล็ก ขณะกำลังจ่ายแรงดันให้กับแบตเตอรี่ และทำการ ทดสอบโดยใช้ขนาด ΔT ที่แตกต่างกันไปแล้วทำการบันทึกผล พฤติกรรม



รูปที่ 3.4 การประดิษฐ์วงจร MPPT Control ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.5 กระบวนการทำงานของวงจร MPPT Control ที่ได้ ประดิษฐ์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

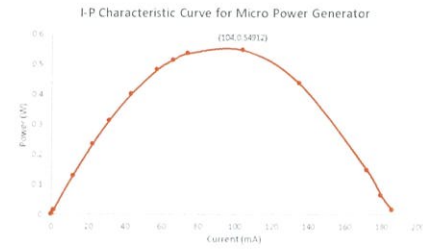
4. การแสดงผลข้อมูล

ผลการทดสอบได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้
ตอนที่ 1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 17 โมดูล

4.1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 17 โมดูล ที่ ผลต่างอุณหภูมิ 62.98°C โดยที่อุณหภูมิด้านร้อน 70.3°C และ อุณหภูมิด้านเย็น 7.32°C

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดัน กระแส และกำลังที่ออกผลิต
ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ผลต่างอุณหภูมิ (ΔT)
62.98 °C สำหรับ 17 โมดูล

R(Ω)	V(mV)	I(mA)	P(W)
0.5	92	186	0.017112
2	358.4	180	0.064512
5	871	172	0.149812
24	3241	135	0.437535
51	5280	104	0.54912
100	7250	74	0.5365
120	7810	66	0.51546
150	8450	57	0.48165
220	9330	43	0.40119
331	10110	31	0.31341
470	10660	22	0.23452
1000	11380	11.4	0.129732
9840	12080	1.2	0.014496
9950	12140	1.2	0.014568
99600	12230	0.12	0.001468
100000	12260	0.12	0.001471
200000	12280	0.06	0.000737
1000000	12320	0.01	0.000123



รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะกระแส-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบ วงจร MPPT Control กับแบตเตอรี่ 3.7

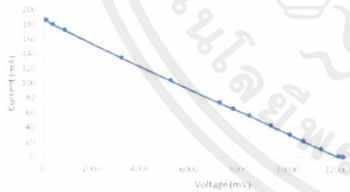
V

4.2 ผลการทดสอบการทำงานชาร์ตแรงดันของวงจร
MPPT Control ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมา จะแสดงค่ากระแส แรงดัน
และกำลังสูงสุด ผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ของตัวอุปกรณ์

ตารางที่ 4.2 ค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลัง ที่
 $\Delta T = 60 - 70$ °C สำหรับการทดสอบ วงจร MPPT Control

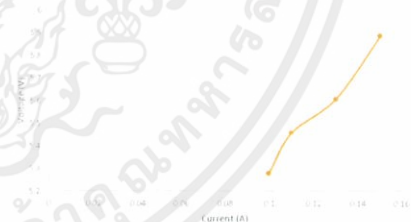
ΔT	I(A)	V(V)	P(W)
62.98	0.10	5.28	0.53
64.13	0.11	5.46	0.60
67.65	0.13	5.61	0.73
69.32	0.15	5.89	0.88

I-V Characteristic Curve for Micro Power Generator



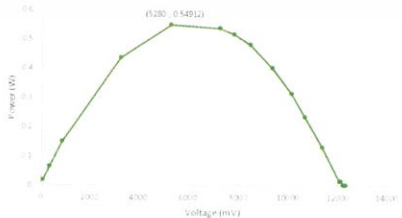
รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

I-V Characteristic Curve for MPPT Control



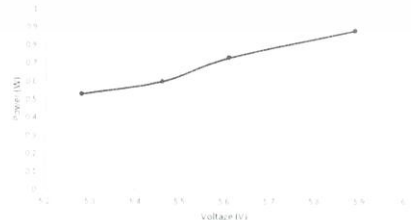
รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน จากการทดสอบวงจร
MPPT Control

P-V Characteristic Curve for Micro Power Generator



รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

P-V Characteristic Curve for MPPT Control



รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะแรงดัน-กำลังไฟฟ้า จากการทดสอบ
วงจร MPPT Control

5.สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กโดยทำขึ้นจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 17 โมดูล ซึ่งนำมาต่ออนุกรมกัน และได้ทำการเพิ่มวงจร MPPT Control เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ TEG เป็นดังต่อไปนี้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถเริ่มทำการจ่าย กระแส แรงดัน ได้เมื่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 60°C เป็นต้นไป โดยในการทดสอบครั้งนี้ ได้อุณหภูมิด้านร้อนเป็น 70.3°C และอุณหภูมิด้านเย็นเป็น 7.32°C ดังนั้นจะได้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสองฝั่งในครั้งนี้เป็น 62.98°C ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้า short circuit , open circuit และ maximum power ที่ผลิตได้มีค่าเป็น 0.0171 W , 0.0001 W และ 0.5491 W ที่โหลดความต้านทาน 0.5 , 1M และ 51 โอห์ม ตามลำดับ

จากนั้นได้ใช้วงจร Mppt Control ที่ทางผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมาไปทดสอบ เพื่อตรวจสอบค่า กระแส แรงดัน กำลัง ที่สามารถผลิตออกมาได้สูงสุดเพื่อที่จะนำไปชาร์ตแรงดันให้กับโหลดทดสอบนั่นคือ แบตเตอรี่รีขนาด 3.7 V ผลการทดสอบที่ได้คือ สามารถทำการชาร์ตได้สำเร็จจึงได้นำไปทดสอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆพบว่าสามารถใช้งานได้จริง โดยค่าสูงสุดของกระแส แรงดัน และกำลัง ที่ได้แสดงบนหน้าจอมอนิเตอร์นั้น จะมีค่าเท่ากับค่ากำลังสูงสุดในตารางที่ 4.2 ซึ่งก็คือค่ากำลังสูงสุดที่ผลิตออกมาได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วงจร MPPT Control นั้นคือการแสดงค่าสูงสุดของกระแส แรงดันและกำลังที่ผลิตได้เท่านั้น สังเกตได้จากพฤติกรรมความต่อเนื่อง Tracking จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ เพื่อช่วยลดจำนวนอุปกรณ์วัดและระยะเวลาในการทดสอบ โดยไม่ได้มีผลทำให้ค่าที่กล่าวมามีการเปลี่ยนแปลงดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ร่วมกับเทคโนโลยี MPPT Control สามารถนำไปปรับใช้ประโยชน์ได้จริงในอนาคต

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล และคณะอาจารย์รวมทั้งเพื่อนนักศึกษา ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในด้านเครื่องมือการทดลอง หายขาดนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทั้งด้าน

การศึกษา การเงิน รวมทั้งให้กำลังใจ ซึ่งทำให้โครงการนี้สามารถประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kotchawan Chantanaporn and team, An Application of Thermoelectric Generator (TEG) as Micro Power Generator from Waste Heat, Electrical Engineering KMITL, 2017
- [2] Ghislain REMY and team, Review of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems, Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEP), 2013

MPPT Control of TEG-Based Micro Power Generator

Nattapat Sithisawat¹, Parat Kongthai², Samatcha Prasongsuk³
and Ass. Prof. Nirudh Jirasuwankool⁴

Abstract

This project proposes a study of thermoelectric generators (TEG) characteristics and its application as a micro power generator from waste heat. The design objective of this study aims to providing power source of 3.7 V battery charging or other smart devices. By implementation of maximum power point tracking algorithm (MPPT) to a cluster of 17 TEG modules, the maximum output power of 0.549W can be obtained by temperature different from the waste heat of 600W incandescent lamp and cooling water. The test result shows that TEG has potential and can be applied as alternative energy source for low power applications.

Introduction

Nowadays, people are living in an era where the demand for electrical energy increasing. Most of the energy that is currently being used hasn't been able for the needs of consumers and has created pollution to the environment. Causing the idea to research for renewable energy sources. In order to better for consumer energy needs and better environmental conservation.

Renewable energy for now being given attention and being developed is heat energy. Because of the low cost and heat temperature. There is release of exhaust heat, Which without being reused for the benefit. Which can help reduce pollution from electricity generation in the future.

So we'll try to use MPPT control with TEG micro generator to generate maximum power for device to make waste heat more useful.

Methodology

We have improved the original micro power generator for higher efficiency. By giving the hot side temperature as 6 x 100w light bulbs and the cold side temperature is cooling water. We has added TEG modules from the original 10 modules to 17 modules by coding MPPT Control program into the arduino board to require the maximum value to be achieved.

The experiment we divided to three parts.

1. Test Micro Power Generator 17 Modules with different temperature 62.98 °C and input AC voltage 240V for collect current and voltage data.
2. Plot I-V, P-V and I-P Characteristic curve and find short circuit, open circuit and maximum point from curve for prepare to test MPPT Control program.
3. Take the device to experiment with MPPT Controller buck converter type to observe and record results.

Results

The result show MPPT control process as follow Fig1. I-V characteristic curve from MPPT as follow Fig2. P-V characteristic curve from MPPT Control as follow Fig3. and Table1 as follow result maximum power point tracking of experiment.



Fig1. MPPT Control Process

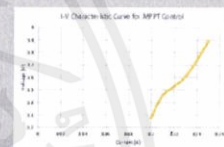


Fig2. I-V Curve MPPT

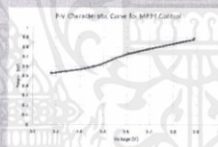


Fig3. P-V Curve MPPT

ΔT	I(A)	V(V)	P(W)
62.98	0.10	5.28	0.53
64.13	0.11	5.46	0.60
67.65	0.13	5.61	0.73
69.32	0.15	5.89	0.88

Table1 result of maximum power point tracking From MPPT Control Circuit

Conclusion

The study indicated that when the different temperature is higher, the module generates more power. The results from experiment adding modules from 10 to 17 modules and increasing the hot temperature side from 4 to 6 bulbs, it is found that the production of voltage and currents are much faster. When the temperature difference at 62.98 °C, the micro power generator can produce power more than old device is 0.549 W. Then use the MPPT Control circuit to check the maximum output current voltage to select the optimum maximum value to charge the voltage to the 3.7 V battery. After charging complete, we bring battery to testing with electronic devices, so we found that it can actually be used for daily life.

References

1. Kotchawan Chantanapom and team, An Application of Thermoelectric Generator (TEG) as Micro Power Generator from Waste Heat, Electrical Engineering KMITL, 2017
2. Ghislain REMY and team, Review of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems, Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEPE), 2013





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermoelectric Power Generator TEG Module

Specifications:

Material: Ceramic / Bismuth Telluride

Color: White Parametric model: SP1848-27145 Temperature(C): 150 degrees Open-circuit voltage(V): 4.8V

Current(MA): 20/0.97/225; 40/1.8/368; 60/2.4/469; 80/3.6/559; 100/4.8/669

Module weight: 25g / 0.89oz

Module size: 4 * 4 * 0.4cm / 1.6 * 1.6 * 0.2inch (L * W * H) Package weight: 26g / 0.92oz

Package size: 14.5 * 10 * 0.4cm / 5.7 * 4 * 0.2inch (L * W * H)

Features:

Small and lightweight, convenient for use. Designed specifically for power generation.

Sealed for moisture protection and contain thermal elements formulated for optimum Seebeck power generation.

High temperature 150 °C, with NM static protection.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CLASSICTONE Superlux

CLASSICTONE 100W E27 220-240V E60 W-W
1CT/5X10F

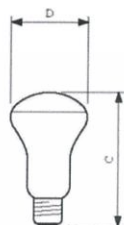
Mushroom-shaped (E-shaped) lamps in various diameters

Product data

General Information		Approval and Application	
Cap base	E27 E27	Energy efficiency label (EEL)	E
Burning Position	UNIVERSAL Any/Universal	Product Data	
Nominal lifetime (nom.)	1000 h	Full product code	871829112459700
Light Technical		Order product name	CLASSICTONE 100W E27 220-240V E60 W-W 1CT/ 5X10F
Lamp Luminous Flux 25°C EL (Nom)	1280 lm	EAN/UPC – product	8711500226310
Colour Rendering Index, horiz (Nom)	100	Order code	920246243301
Operating and Electrical		Numerator – quantity per pack	1
Power (Rated) (Nom)	100 W	Numerator – packs per outer box	50
Voltage (Nom)	220-240 V	Material no. (12NC)	920246243301
Controls and Dimming		Net weight (piece)	0.028 kg
Dimmable	yes	Mechanical and Housing	
Mechanical and Housing		Bulb finish	White-Window

CLASSICTONE Superlux

Dimensional drawing



Product	D	C (max)
CLASSICTONE 100W E27 220-240V E60 W-W 1CT/SX10F	60 mm	104 mm

SUPERLUX 100W E27 220-240V E60 W-W



© 2018 Signify Holding. All rights reserved. Signify does not give any representation or warranty as to the accuracy or completeness of the information included herein and shall not be liable for any action in reliance thereon. The information presented in this document is not intended as any commercial offer and does not form part of any quotation or contract, unless otherwise agreed by Signify. Philips and the Philips Shield Emblem are registered trademarks of Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2018, July 23 - data subject to change

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Specification

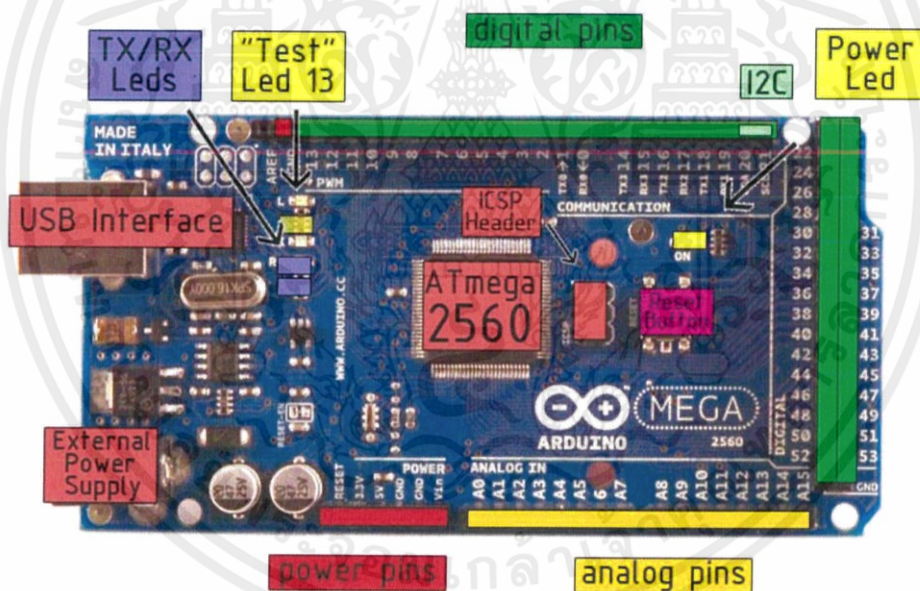


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares *RADIONICS*

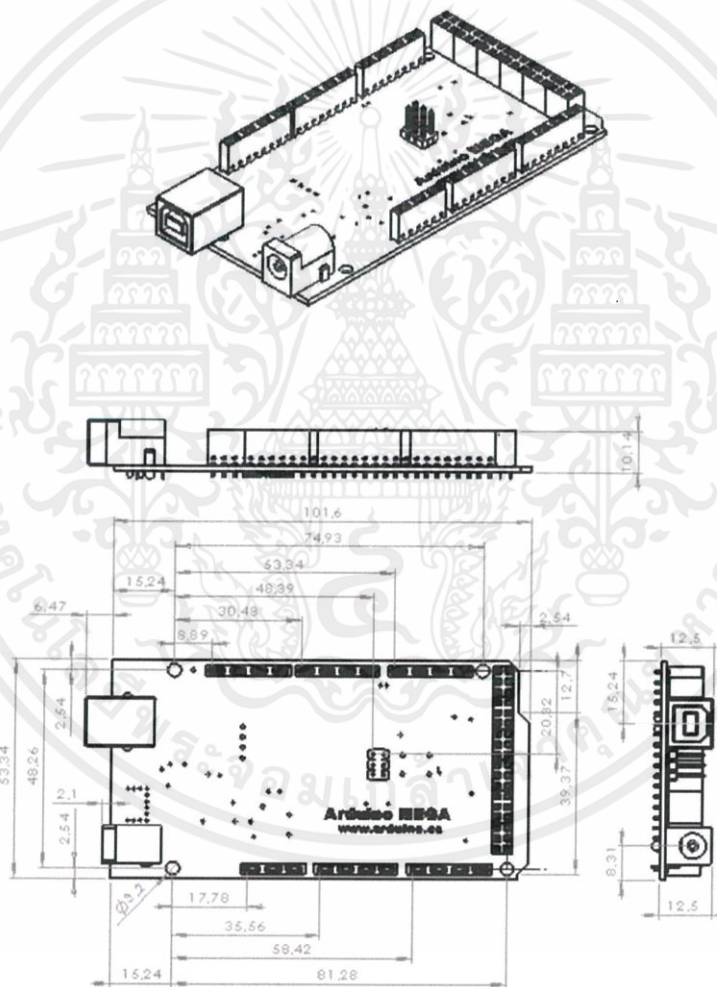


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The

Dimensioned Drawing



radiospares RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li-Polymer battery 3.7V 103450 1800mAh lithium ion polymer battery for GPS

Overview : Quick Detail

Place of Origin : Guangdong, China (Mainland)	Brand Name : KAMCY
Model Number : 103450P	Nominal Capacity : 1800mAh
Nominal Voltage : 3.7V	Type : Li-polymer
Cell size : T10*W34*L50 mm	Pack size with PCB : T10*W34*L52 mm
Battery type : Li polymer Battery	Capacity : 1800mAh
Warranty : 1 Year	Weight : 36g
Certificate : CE/RoHS/UN38.3/MSDS/CB/IEC62133	Application : GPS, Digital Products
Cycle life : 500-1000 Times	Size : 10X34X50mm

Overview : Supply Ability

Supply Ability : 10000 Set/Sets per Day

Overview : Packaging & Delivery

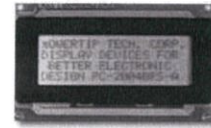
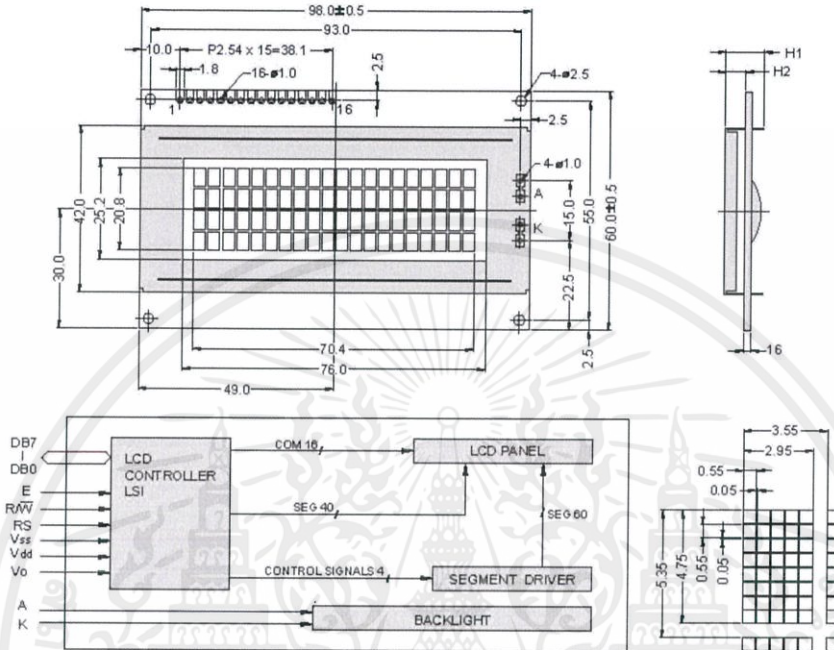
Packaging Details : neutral packing

Port : Shenzhen/HK

Lead Time : 6-10 days



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


PC 2004-A

.....OUTLINE DIMENSION & BLOCK DIAGRAM

 The tolerance unless classified $\pm 0.3\text{mm}$

MECHANICAL SPECIFICATION			
Overall Size	98.0 x 60.0	Module	H2 / H1
View Area	76.0 x 25.2	W/O B/L	5.0 / 9.6
Dot Size	0.55 x 0.55	EL B/L	5.0 / 9.6
Dot Pitch	0.60 x 0.60	LED B/L	8.7 / 13.3

PIN ASSIGNMENT		
Pin no.	Symbol	Function
1	Vss	Power supply(GND)
2	Vdd	Power supply(+)
3	Vo	Contrast Adjust
4	RS	Register select signal
5	R/W	Data read / write
6	E	Enable signal
7	DB0	Data bus line
8	DB1	Data bus line
9	DB2	Data bus line
10	DB3	Data bus line
11	DB4	Data bus line
12	DB5	Data bus line
13	DB6	Data bus line
14	DB7	Data bus line
15	A	Power supply for LED B/L (+)
16	K	Power supply for LED B/L (-)

ABSOLUTE MAXIMUM RATING									
Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Units				
Supply for logic voltage	Vdd-Vss	25°C	-0.3	7	V				
LCD driving supply voltage	Vdd-Vee	25°C	-0.3	13	V				
Input voltage	Vin	25°C	-0.3	Vdd+0.3	V				
ELECTRICAL CHARACTERISTICS									
Item	Symbol	Condition	Min.	Typical	Max.	Units			
Power supply voltage	Vdd-Vss	25°C	2.7	-	5.5	V			
LCD operation voltage	Vop	Top	N	N	N	N	V		
		-20°C	-	7.1	-	7.5	-	7.9	V
		0°C	5.1	-	5.4	-	6.1	-	V
		25°C	5	6.1	5.3	6.4	5.8	6.7	V
		50°C	4.4	-	4.7	-	5.5	-	V
		70°C	-	5.7	-	6	-	6.3	V
LCM current consumption (No B/L)	Idd	Vdd=5V	-	2.5	4	mA			
Backlight current consumption	LED/edge	VB/L=4.2V	-	-	-	mA			
	LED/array	VB/L=4.2V	-	260	-	mA			

REMARK

LCD option: STN, TN, FSTN


Backlight Option: LED, EL Backlight feature, other Specs not available on catalog is under request.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











● CODING SYSTEM FOR LCD MODULE



 P C 1 6 0 2 * * * - * * - * - *

 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

NO	Code value	Description	Type
1	P	Powertip products	Brand
2	C	Character	Module type
	G	Graphic	
	S	Engineer sample	
	T	Total solution	
3	08.16.20.24 ...	Characters per line (for character modules)	Characters per line or row dots
	120.122.128 ...	Row dots (for graphic modules)	
4	01.02.03.04 ...	Lines (for character modules)	Lines or column dots
	32.64.128 ...	Column dots (for graphic modules)	
5	A	Without backlight	Backlight mode (Type + Color)
	B	EL backlight, Blue-green	
	D 	EL backlight, Yellow-green	
	E	EL backlight, White	
	F	CCFL backlight, White	
	L	LED backlight, Yellow-green	
	M 	LED backlight, Amber	
	N 	LED backlight, Red	
	O 	LED backlight, Orange	
	P 	LED backlight, Pure-green	
	S 	LED backlight, Green	
U 	LED backlight, Blue		
W 	LED backlight, White		
6	R	Standard (through hole, cable, connector and etc.)	Connecting type
	Y	Straight pin-header	
	Z	Right angle pin-header	
7	None (*1)	TN positive, Gray	LCD mode (Type + Color)
	N	TN negative, Blue	
	S	STN positive, Gray	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


POWERTIP

7	U	STN positive, Yellow-green	LCD mode (Type+Color)							
	M	STN negative, Blue								
	F	FSTN positive, White								
	T	FSTN negative, Black								
8	0-Z	Series number	Model name							
9	00-ZZ	IC manufacturer / character pattern /total solution series number	* 2							
	NN	Without controller								
10	A	Reflective /Normal temp. /6:00 direction	Polarizer type/ LCD Temperature range/ Viewing direction							
	D	Reflective /Normal temp. /12:00 direction								
	G	Reflective /Extended temp. /6:00 direction								
	J	Reflective /Extended temp. /12:00 direction								
	B	Transflective /Normal temp. /6:00 direction								
	E	Transflective /Normal temp. /12:00 direction								
	H	Transflective /Extended temp. /6:00 direction								
	K	Transflective /Extended temp. /12:00 direction								
	C	Transmissive /Normal temp. /6:00 direction								
	F	Transmissive /Normal temp. /12:00 direction								
	I	Transmissive /Extended temp. /6:00 direction								
L	Transmissive /Extended temp. /12:00 direction									
11	No code value	Standard product	Version							
	01-ZZ	Special code								
(*1) Without code value										
(*2)										
Character Pattern		Character							Graphic	
English / Japanese	EA	HO/HA/HC	SO	NO	WA	AO	JA	YA	E4	
English / Europe	EB	H2/HB/HC/HU	S5/S6	N5/N6/NI	WB/W5		JB	TA		
English / France	EC		S3	N3						
English / Russia	EH		SH	NH						
English / Chinese		HH								
English / Hebrew			S4/S8	N4/N8						
Note: A: APANPEC LSI M: MOTOROLA LSI R: SHARP LSI W: SITRONIX LSI E: ESPON LSI N: NOVATECH LSI S: SAMSUNG LSI Y: SANYO LSI H: HITACHI LSI O: OKI LSI T: TOSHIBA LSI J: JRC LSI P: PHILIPS LSI U: UMC GROUP LSI										
(*3) Check with our sales for available combinations.										



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐภัทร์ สิทธิสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด 13 มกราคม 2540
ที่อยู่ 7 ถนนอภัยสงเปลือย ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัด
กาฬสินธุ์ 46000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนอนุกุลนารี
ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท บี.กริม บีไอพี เพาเวอร์ 1,2 จำกัด (มหาชน)



ชื่อ-นามสกุล นายปรัดต์ คงไทย
วัน เดือน ปีเกิด 26 มีนาคม 2538
ที่อยู่ 324 หมู่ 1 ตำบลแสนตอ อำเภอขามเฒ่าศรีสุรินทร์ จังหวัด
กำแพงเพชร 62130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหยกฟ้า
ปีการศึกษา 2561 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิษณุโลก เขต 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นายสมัชชา ประสงค์สุข
 วัน เดือน ปีเกิด 31 กรกฎาคม 2538
 ที่อยู่ 661/1-3 ซอยฉลองกรุง 1 ตำบลลาดกระบัง อำเภอ
 ลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ
 จังหวัด จันทบุรี

ปีการศึกษา 2561 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท เทอร์โมเทรเซอร์ จำกัด (มหาชน)