พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก

TRIBOELECTRIC ENERGY HARVESTING FLOOR TILES

นิธิพัฒน์ หมีนพราน

อรรถพล พัวพันธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TRIBOELECTRIC ENERGY HARVESTING FLOOR TILES

NITIPAT MEENPRAN

AUTTHAPON PUAPAN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก
TRIBOELECTRIC ENERGY HARVESTING FLOOR TILES

ผู้จัดทำ นายนิธิพัฒน์ หมีนพราน 60010586
นายอรรถพล พัวพันธ์ 60011163

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก

โดย
นายนิธิพัฒน์ หมีนพราน 60010586
นายอรรถพล พัวพันธ์ 60011163

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก คือการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติไทรโบอิเล็กทริก มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการใช้ชีวิตในปัจจุบันอย่าง การเดิน วิ่ง กระโดด ผ่านพื้นที่ออกแบบมาสำหรับการเหยียบโดยเฉพาะ และทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้เพื่อศึกษากระบวนการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก แล้วนำมาใช้กับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานที่ออกแบบไว้ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การออกแบบโมดูล (module) ภายในพื้นเพื่อรองรับรูปแบบโครงสร้างสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน และการดำเนินการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากเหยียบพื้น ซึ่งวัสดุไทรโบอิเล็กทริกที่ใช้กับการทดลองทั้งหมด คือวัสดุเทปลอน (Teflon) ความหนา 0.01 เซนติเมตร โครงสร้างภายในพื้นมี 2 รูปแบบ คือแบบพื้นฐาน (สี่เหลี่ยมจัตุรัส) ขนาด 30x30 เซนติเมตร และแบบแยกเซลล์ย่อยจำนวน 4 เซลล์ (สี่เหลี่ยมจัตุรัส) ขนาด 15x15 เซนติเมตร ในส่วนการทดลองจะเป็นการหากำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโครงสร้างหรือโมดูลแต่ละแบบภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน จากผลการทดลองพบว่า โครงสร้างแบบแยกเซลล์ย่อยต่อขนานกันจำนวน 4 เซลล์ เป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งให้กำลังไฟฟ้า 5.627 μW และ Optimal load อยู่ที่ 90 MΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TRIBOELECTRIC ENERGY HARVESTING FLOOR TILES

By

Mr. Nitipat Meenpran 60010586

Mr. Autthapon Puapan 60011163

Advisor

Asst.Prof.Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2020

ABSTRACT

Triboelectric Energy Harvesting Floor Tiles is the use of materials with properties of triboelectric to applied in daily life. Such as walking, running, jumping through the energy harvesting floor tiles that especially designed and building for stepping to make the most of benefit. The objective of this project is to study the process of energy harvesting from triboelectric materials. And applied to energy harvesting floor tiles that can be divided into 2 main parts. First, is the modular design (module) within the floor to support the structural layout for energy harvesting. Second, conducting experiments to harvest energy from the floor tiles. Teflon is a triboelectric material that used for all experiments, thickness 0.01 cm. There are 2 types of internal structures. First is the basic type of square, size 30x30 cm. and the sub-cell type about 4 cells of square, size 15x15 cm. In the experimental part, it will find the maximum electrical power to test the performance of each structure within the energy harvesting floor tiles. From the results of the experiment was found that the sub-cellular structure 4 cells parallel is the most efficient structure. Which gives the power 5.627 μW and optimal load 90 MΩ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ. สองเมือง นันทขว้าง และ รองศาสตราจารย์ ดร. ดอน อิศรากร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการดำเนินงานในการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำจนสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยนี้จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านเป็นอย่างสูง

และขอขอบคุณรุ่นพี่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบจักรกลไฟฟ้าหลายระดับ (Multi-Scale Electromechanical Laboratory) ที่สละเวลามาคอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา ช่วยเหลือสนับสนุนการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง และช่วยเหลือตรวจสอบความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายขอขอบคุณทุกคนที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอบคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและที่พึ่งทางใจให้เสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจคอยให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงงาน ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดแบะควบคุม สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นสถานที่ให้ความรู้และได้พบเจอมิตรภาพ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณทุกคนเป็นอย่างสูงที่ทำให้ปริญณานิพนธ์นี้ได้สำเร็จอย่างลุล่วงและสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นิธิพัฒน์ หมีนพราน

อรรถพล พัวพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 รายละเอียดปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 การเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก	4
2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงาน	4
2.2 ไทรโบอิเล็กทริก	5
2.2.1 วัสดุไทรโบอิเล็กทริก	5
2.2.2 หลักการของไทรโบอิเล็กทริก	6
2.3 หลักการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด	7
2.4 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและติดตั้งโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	10
3.1 พื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	10
3.2 การออกแบบโครงสร้างภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	12
3.2.1 การออกแบบเสาสำหรับติดตั้งบริเวณตรงกลางของพื้น	13
3.2.2 การออกแบบเสาสำหรับติดตั้งบริเวณมุมทั้งสี่มุมของพื้น	14
3.3 การติดตั้งภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	15
3.3.1 การติดตั้งเสาและแผ่นอะคริลิค	16
3.3.2 การติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมและแผ่นเทปล่อน	17
3.4 สรุปการติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	18
บทที่ 4 การทดลองคุณสมบัติเฉพาะของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก	20
4.1 การทดลองพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก	20
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติเฉพาะของพื้น	20
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	21
4.3.1 แบบพื้นฐาน	21
4.3.2 แบบแยกเซลล์ต่อขนาน	24
4.3.3 แบบแยกเซลล์ต่ออนุกรม	27
4.3.4 แบบแยกเซลล์ย่อย	29
4.4 การทดลองที่ไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส	37
4.5 การทดลองที่แรงดันยังไม่ถึงจุดคงที่ก่อนทำการทดลอง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปการดำเนินงาน	44
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	44
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	45
5.3 แนวทางการพัฒนาและต่อยอด	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน	4
2.2 ความเด่นของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก	5
2.3 หลักการทำงานของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก	6
2.4 วงจรไฟฟ้าและกราฟอธิบายพื้นฐานของการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด	7
2.5 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น	8
2.6 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น	9
3.1 พื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	10
3.2 แบบด้านบนของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	11
3.3 แบบด้านหน้าของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	12
3.4 ด้านข้างของพื้นเก็ฐเกี่ยวพลังงาน	13
3.5 การวางตำแหน่งของเสาแต่ละต้น	12
3.6 ตำแหน่งสำหรับยึดเสากับพื้นด้วยสกรู	13
3.7 แบบเสาที่ติดบริเวณตรงกลางของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง	13
3.8 เสาที่ติดบริเวณตรงกลางของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง	14
3.9 แบบเสาที่ติดบริเวณมุมทั้ง 4 มุมของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง	14
3.10 เสาที่ติดบริเวณมุมทั้ง 4 มุมของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง	15
3.11 การแสดงการติดตั้งเสาและแผ่นอะคริลิค	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 การติดตั้งเสาและเชื่อมอะคริลิคเชื่อมกับเสาทั้งหมด	16
3.13 แผ่นอะลูมิเนียม	17
3.14 แผ่นทองแดงและแผ่นเทปลอน	17
3.15 การติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	18
3.16 การจำลองการติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน	18
3.17 แบบพื้นเสร็จสมบูรณ์จากมุมบน	19
4.1 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลอง	21
4.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบพื้นฐาน	23
4.3 กำลังไฟฟ้าของแบบพื้นฐาน	23
4.4 แบบแยกเซลล์ 4 เซลล์	24
4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบต่อขนาน 4 เซลล์	26
4.6 กำลังไฟฟ้าของแบบต่อขนาน 4 เซลล์	26
4.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบต่ออนุกรม 4 เซลล์	28
4.8 กำลังไฟฟ้าของแบบต่ออนุกรม 4 เซลล์	28
4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 1	30
4.10 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 1	30
4.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 2	32
4.12 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 2	32
4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 3	34
4.14 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 3	34
4.15 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 4	36
4.16 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 4	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบพื้นฐานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส	38
4.18 กำลังไฟฟ้าแบบพื้นฐานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส	38
4.19 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบ 4 เซลล์ต่อแบบขนานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส	40
4.20 กำลังไฟฟ้าแบบ 4 เซลล์ต่อแบบขนานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส	40
4.21 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองที่ไม่ได้เหยียบพื้นให้ค่าแรงดันถึงจุดคงที่ก่อนทดลอง	42
4.22 กำลังไฟฟ้าจากการทดลองที่ไม่ได้เหยียบพื้นให้ค่าแรงดันถึงจุดคงที่ก่อนทดลอง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ตารางความสูง/หนาของอุปกรณ์ที่นำมาติดด้านในของพื้น 19

4.1 ผลการทดลองแบบพื้นฐาน 22

4.2 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ต่อขนาน 25

4.3 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ต่ออนุกรม 27

4.4 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 1 29

4.5 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 2 31

4.6 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 3 33

4.7 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 4 35

4.8 ผลการทดลองแบบพื้นฐานที่ยังไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส 37

4.9 ผลการทดลองแบบต่อขนานที่ยังไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส 39

4.10 ผลการทดลองทีแรงดันยังไม่ถึงจุดคงที่ก่อนการทดลอง 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าคือสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันของมนุษย์ การผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีหลากหลายวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ โดยโครงงานนี้เป็นหนึ่งในวิธีที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการเดิน การวิ่ง และ การกระโดดของมนุษย์ คือพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริกที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งจะเป็นการจัดเก็บพลังงานโดยตรงจากมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ โดยเหตุผลของการเลือกวัสดุไทรโบอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในโครงงานนี้ เพราะวัสดุไทรโบอิเล็กทริกนั้นหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไปและราคาถูกกว่าวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติในการสร้างพลังงานไฟฟ้าเหมือนกัน

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริกจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำเสนอด้านการเก็บเกี่ยวพลังงานหรือเรียกอีกอย่างว่า Energy Harvesting ซึ่งก็คือการนำเอาพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมาเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในการทำงานขนาดน้อย ๆ โดยการใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในของวัสดุ การเกิดไฟฟ้าสถิตและการถ่ายเทประจุมาทำการจัดเก็บพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก

การนำพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริกมาใช้งานนั้น ต้องผ่านการทดลองหลายขั้นตอนด้วยกัน อย่างแรกคือการหาวิธีที่จะทำให้ได้พลังงานและกำลังไฟฟ้าสูงที่สุด โดยใช้หลักการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) เพื่อหาความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกที่ใช้ หลังจากนั้นคือการกักเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และส่วนสุดท้ายคือการทดลองในรูปแบบต่าง ๆ ตามบทความข้างต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะนำพาไปสู่แหล่งความคิดสิ่งประดิฐ นวัตกรรมใหม่ ๆ หรือวิธีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าอดีตและพัฒนาต่อไปยังอนาคต (ด้านการเก็บเกี่ยวพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพันธ์

- เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก
- เพื่อศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Harvesting)
- ออกแบบพื้นสำหรับการจัดเก็บพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก
- ออกแบบพื้นจัดเก็บพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก
- ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงานของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกภายในพื้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- ศึกษาหลักการเก็บเกี่ยวพลังงานและพฤติกรรมของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก
- ออกแบบพื้นสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุไทรโบอิเล็กทริก
- ทดสอบการทำงานของพื้นและทดลองการเก็บเกี่ยวพลังงาน
- เปรียบเทียบผลการทดลองและสรุปผลการดำเนินงาน
- จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นพื้นฐานในการวิจัยสำหรับผู้ที่สนใจการเก็บพลังงาน
- สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.6 รายละเอียดปริญญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีรายละเอียดที่สำคัญทั้งหมด 5 บทและภาคผนวก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 การเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก กล่าวถึงหลักการเก็บเกี่ยวพลังงานและทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้กับการดำเนินงานของปริญญานิพนธ์

บทที่ 3 การออกแบบภายในของพื้นเป็นการอธิบายขั้นตอนในการออกแบบและติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

บทที่ 4 ผลการทดลอง เป็นการแสดงรายละเอียดการทดลองและผลการทดลองทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง เป็นการสรุปภาพรวมของการดำเนินงานทั้งหมด และข้อเสนอแนะสำหรับการนำอุปกรณ์ไปพัฒนาและต่อยอด

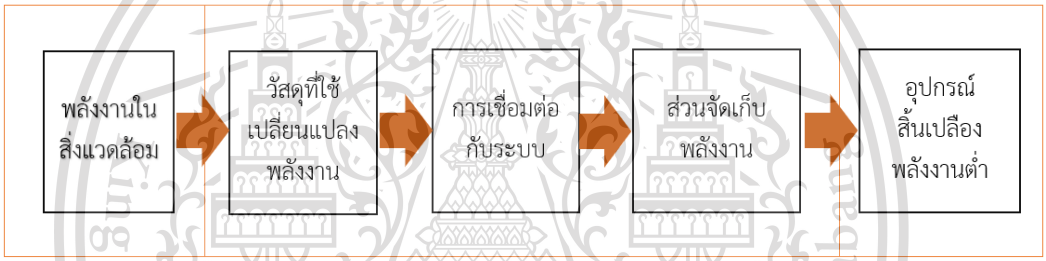
ภาคผนวก เป็นส่วนแสดงตัวอย่างการต่อยอดโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
การเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก

2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงาน

การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy harvesting) เป็นกระบวนการในการนำพลังงานที่เกิดขึ้นสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในธรรมชาติมาจัดเก็บไว้ ซึ่งพลังงานที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หลังจากนำมาจัดเก็บแล้วสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการพลังงานต่ำได้ โดยในโครงงานนี้จะเป็นการจัดเก็บพลังงานที่ได้มาจากการเดิน การวิ่ง หรือการกระโดดของมนุษย์บนพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานก่อนจะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ได้ต่อไป โดยจะมีองค์ประกอบที่สำคัญของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน [1]

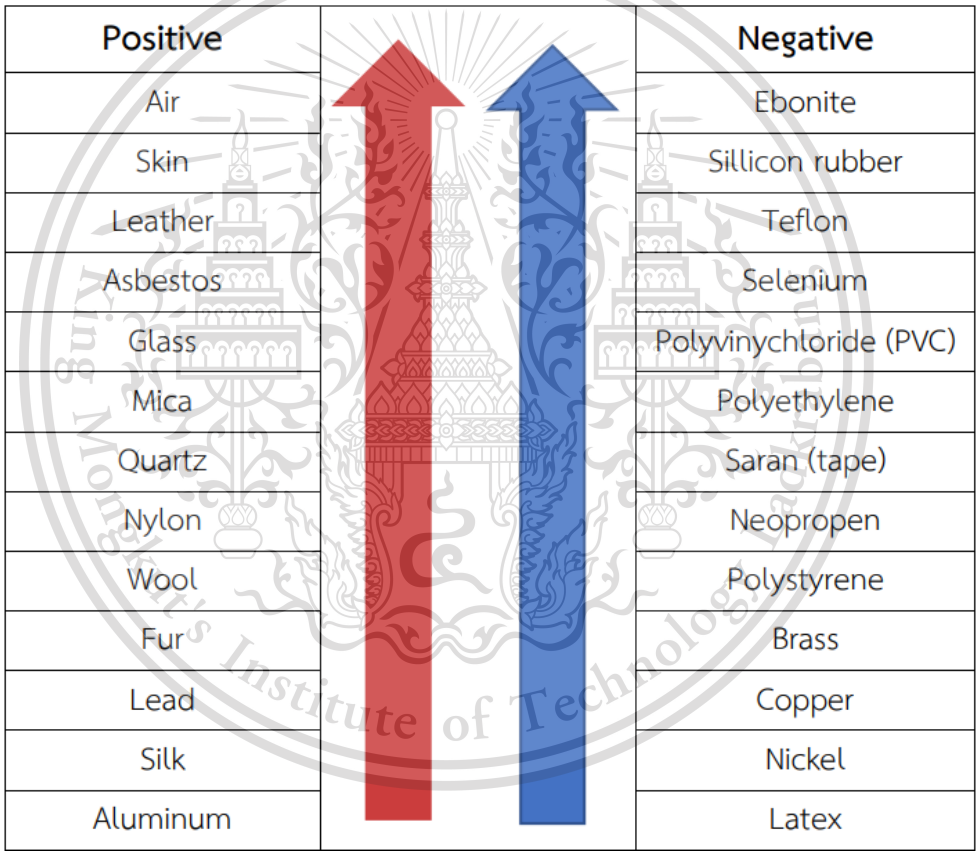
พลังงานในสิ่งแวดล้อมเป็นพลังงานที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมที่ต้องการนำมาเก็บไว้ ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเหยียบพื้น ซึ่งวัสดุภายในพื้นจะเป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานได้ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วัสดุประเภทไทรโบอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานกลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในตัววัสดุแล้วนำไปเชื่อมต่อกับระบบ ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างวัสดุที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานกับส่วนจัดเก็บพลังงานเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับวงจรที่อยู่ภายนอกได้ หรือเป็นส่วนที่ทำหน้าที่จัดการพลังงานที่ได้มาจากวัสดุที่สามารถเปลี่ยนเพลงพลังงานได้แล้วนำไปจัดเก็ฐไว้ในส่วนของการจัดเก็บพลังงาน เช่น ตัวเก็บประจุ แบตเตอรี่ต่าง ๆ เป็นต้น ก่อนจะนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ไทรโบอิเล็กทริก

2.2.1 วัสดุไทรโบอิเล็กทริก

วัสดุไทรโบอิเล็กทริกหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติไทรโบอิเล็กทริก เป็นวัสดุที่สามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ โดยจะใช้การนำแผ่นตัวนำไฟฟ้า เช่น แผ่นทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น มาสัมผัส ถู หรือ กระทบกัน หลังจากนั้นจะทำให้เกิดการแยกกันระหว่างประจุบวกและประจุลบบนแผ่นตัวนำไฟฟ้ากับวัสดุไทรโบอิเล็กทริก ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติไทรโบอิเล็กทริกที่มีอยู่ในวัสดุเทปลอน มาทำการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการที่กล่าวมาจากข้างต้น



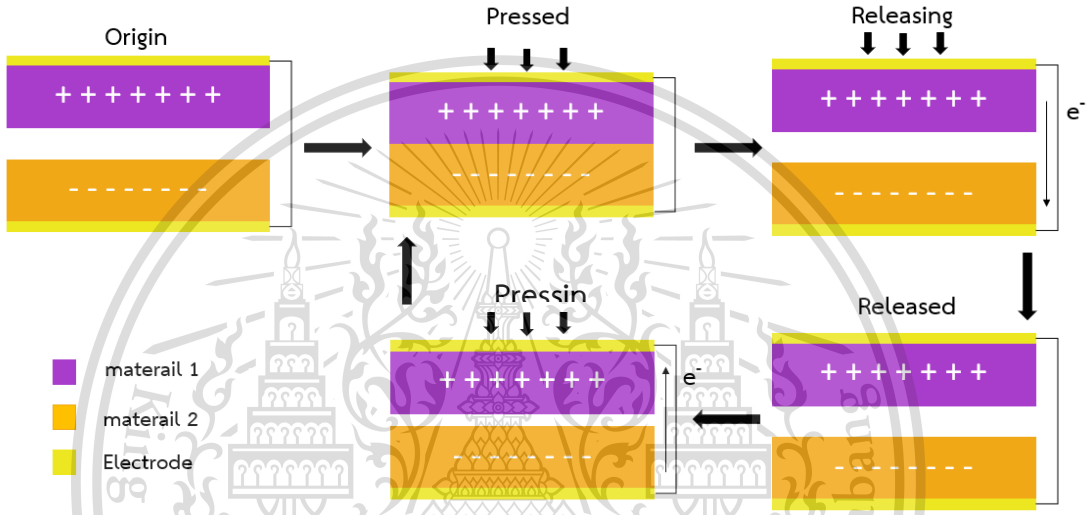
รูปที่ 2.2 ความเด่นของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก [2]

จากรูปที่ 2.2 จะเป็นการแสดงการรับและการสูญเสียอิเล็กตรอนของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกที่แตกต่างกัน หากวัสดุมีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายจะเรียกว่าวัสดุที่มีความเด่นบวก (Positive) แต่หากวัสดุสามารถรับอิเล็กตรอนได้ง่ายจะเรียกว่าวัสดุที่มีความเด่นลบ (Negative) โดยในโครงงานนี้จะเลือกใช้อะลูมิเนียมที่มีความเด่นลบและเทปลอนที่มีความเด่นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 หลักการของไทรโบอิเล็กทริก

หลักการไทรโบอิเล็กทริก หรือ Triboelectric Effect คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการขัดถูหรือกระแทกกันระหว่างวัสดุสองชนิด จนทำให้เกิดการถ่ายเทประจุจากที่วัสดุทั้งสองที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมานั้นเรียกว่าไฟฟ้าสถิต เช่น การนำแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum) ที่มีความเด่นลบมากระแทก กระทบ ชน หรือถูกับวัสดุที่มีคุณสมบัติของไทรโบอิเล็กทริกเด่นบวก ในลักษณะสัมผัสแล้วแยกออกจากกัน ทำแบบนี้ ซ้ำ ๆ จะเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้น โดยการดำเนินงานโครงงานนี้จะใช้วัสดุเทปลอน



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก [3]

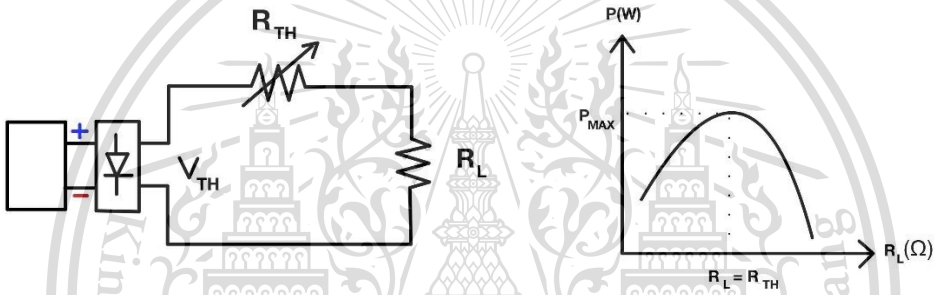
จากรูปที่ 2.3 เมื่อเป็นสภาวะ Origin วัสดุที่มีคุณสมบัติไทรโบอิเล็กทริกสองชนิดมาสัมผัส ถูหรือกระทบกัน จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นและเกิดการเหนี่ยวนำประจุบวกของวัสดุที่มีความเด่นบวกและลบอยู่จำนวนมากเกิดขึ้นระหว่างวัสดุสองชนิดนี้ จากนั้นประจุจากวัสดุทั้งสองจะไหลผ่านไปยังขั้วไฟฟ้าที่สภาวะ Pressed เป็นช่วงที่จะไม่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าในขณะที่วัสดุทั้งสองสัมผัสกัน จึงไม่มีการเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ณ สภาวะ Pressed ที่สภาวะ Releasing เมื่อวัสดุไทรโบอิเล็กทริกทั้งสองชนิดแยกออกจากการสัมผัสกัน ความเข้มของสนามไฟฟ้าจะลดลง ทำให้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปยังวัสดุทั้งสองชนิดผ่านขดลวดตัวนำที่สภาวะ Released ในขณะที่วัสดุทั้งสองไม่มีการเคลื่อนที่จะไม่มีการเกิดสนามไฟฟ้า จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของประจุระหว่างวัสดุทั้งสอง เกิดเป็นสภาวะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 หลักการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Transfer) เป็นหลักการที่ใช้ถ่ายในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดหรือตัวต้านทานในวงจร เช่น วงจรภายไฟฟ้าในพัดลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นโหลด โดยระดับความแรงการหนุมของมอเตอร์พัดลมคือกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านมาจากวงจรไฟฟ้า โดยหลักการกล่าวว่าการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดไปยังโหลดนั้นจะมีการเกิดกำลังทางไฟฟ้าขึ้นสูงที่สุดเมื่อความต้านทานของโหลดมีเท่ากับความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ในส่วนของการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเรื่องการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะใช้วงจรสมมูลของเทวินิน (Thevenin Equivalent Circuit) ในการวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายและกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อโหลด ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรไฟฟ้าและกราฟอธิบายพื้นฐานของการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด [4]

ในบางครั้งการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดอาจที่จะต้องส่งผ่านตัวต้านทานจำนวนหลายตัว จึงสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power) ที่จะเกิดขึ้นกับโหลดนั้น ๆ ได้โดยการนำเอาหลักการของเทวินินดังข้างต้นที่ได้กล่าวมาใช้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรสมมูลของเทวินินมีเพียงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเทวินินและค่าความต้านทานเทวินินที่ต่ออยู่ในวงจร ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power) กับโหลดก็ต่อเมื่อค่าความต้านทานของโหลด R_L เท่ากับความต้านทานเทวินิน R_{TH} โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH}+R_L} \qquad (1)$$

$$P_L = I^2_L = \left(\frac{V_{TH}}{R_{TH}+R_L}\right)^2 R_L = \frac{V^2_{TH}\, R_L}{(R_{TH}+R_L)^2} \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และเมื่อค่ากำลังไฟฟ้า P_L มีค่าสูงที่สุดต่อโหลดจะสามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง R_L กับ R_{TH} ได้โดยการใช้สมการอนุพันธ์ (Differential Equations) ต่อไปนี้

$$\frac{dP_L}{dP_L} = \frac{(R_{TH}+R_L)^2(2R_{TH}+2R_L)V^2_{TH}\ R_L}{(R_{TH}+R_L)^4} = 0 \qquad (3)$$

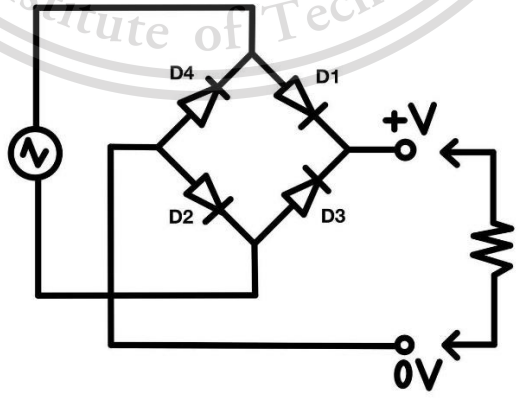
$$(R_{TH}+R_L)^2V^2_{TH}=2(R_{TH}+R_L)V^2_{TH} \qquad (4)$$

$$R_{TH}+R_L=2R_L \quad \text{ดังนั้น} \quad R_{TH}=R_L \qquad (5)$$

2.4 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแส หรือ Rectifier Circuit เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนสภาพของไฟฟ้ากระแสสลับที่มีทั้งด้านบวกและด้านลบ (AC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ด้านบวกหรือด้านลบเพียงด้านเดียว โดยวงจรเรียงกระแสเรียงกระแสโดยทั่วไปแล้วมักจะถูกเรียกว่าวงจรบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit) เหตุเพราะภายในวงจรหรืออุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติการเรียงกระแสนี้มีไดโอด (Diode)

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลัก คือวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น (Full-wave Rectifier Circuit) และวงจรเรียงกระแสครึ่งลูกคลื่น (Half-wave Rectifier Circuit) ซึ่งในการทดลองโครงงานนี้จะใช้เพียงวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกครึ่ง (Full-wave Rectifier Circuit) ดังรูปที่ 2.5



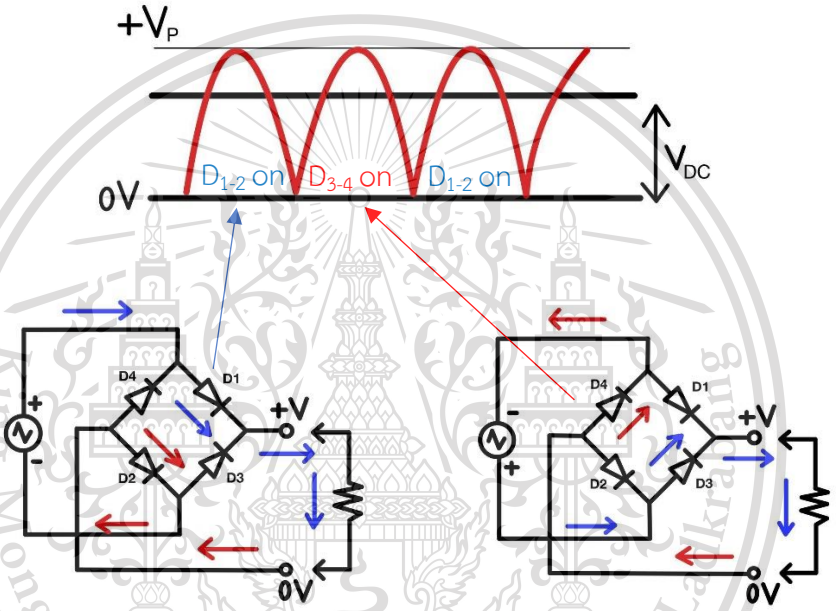
รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น มีหลักการอย่างง่ายทั้งหมด 2 ขั้นตอนดังนี้

- เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไดโอด D1 และ D2 ในช่วงครึ่งลูกคลื่นด้านบวกของแรงดันอินพุตที่เข้ามาในวงจร จะได้รูปคลื่นเอาต์พุตเป็นครึ่งลูกคลื่นในส่วนแรก
- เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไดโอด D3 และ D4 แล้วกระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลผ่านไดโอด D1 และ D2 เนื่องจากจะเป็นสวนทิศทางของไดโอด D1 และ D2 กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านไปที่โหลดแทน

  ทำให้ได้เอาต์พุตครึ่งลูกคลื่นด้านลบในช่วงที่สอง กลับขึ้นมาเป็นด้านบวกดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น [5]

รูปแบบคำนวณสำหรับการหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น มีดังต่อไปนี้

$$V_{DC}=V_{AVE}=\frac{2V_P}{\pi}=0.636\ V_P \qquad (7)$$

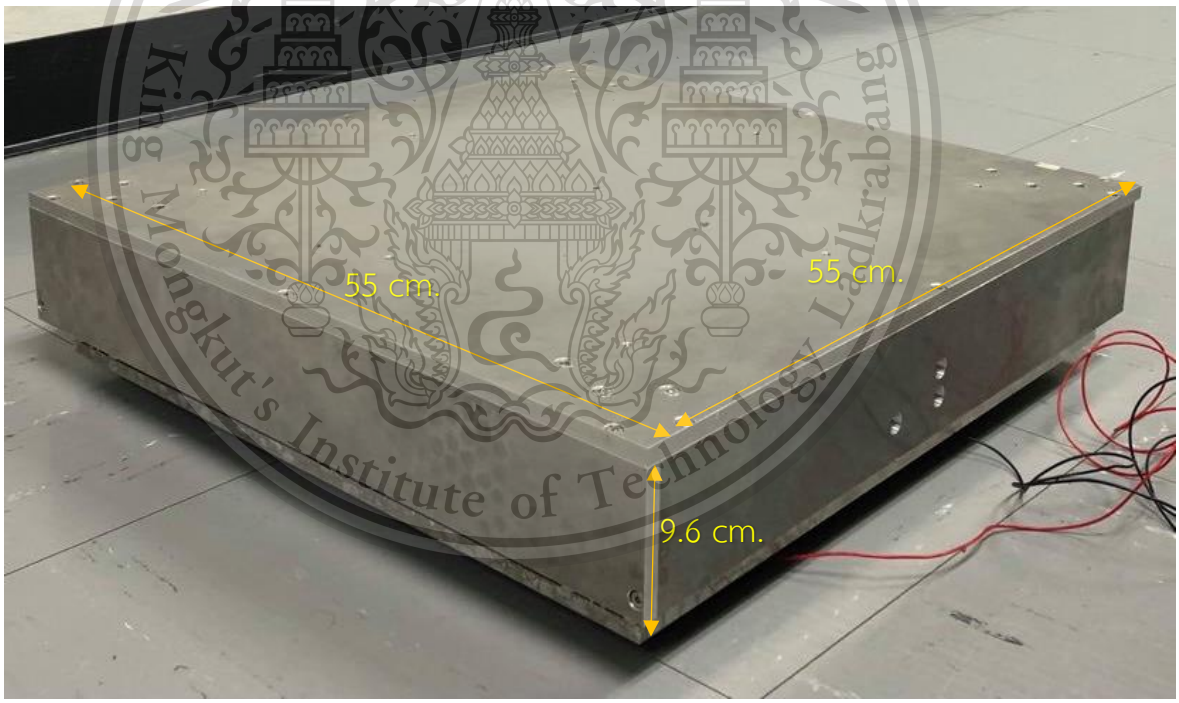
$$V_{DC}=V_{AVE}=0.9\ V_{RMS} \qquad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
การออกแบบและติดตั้งโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

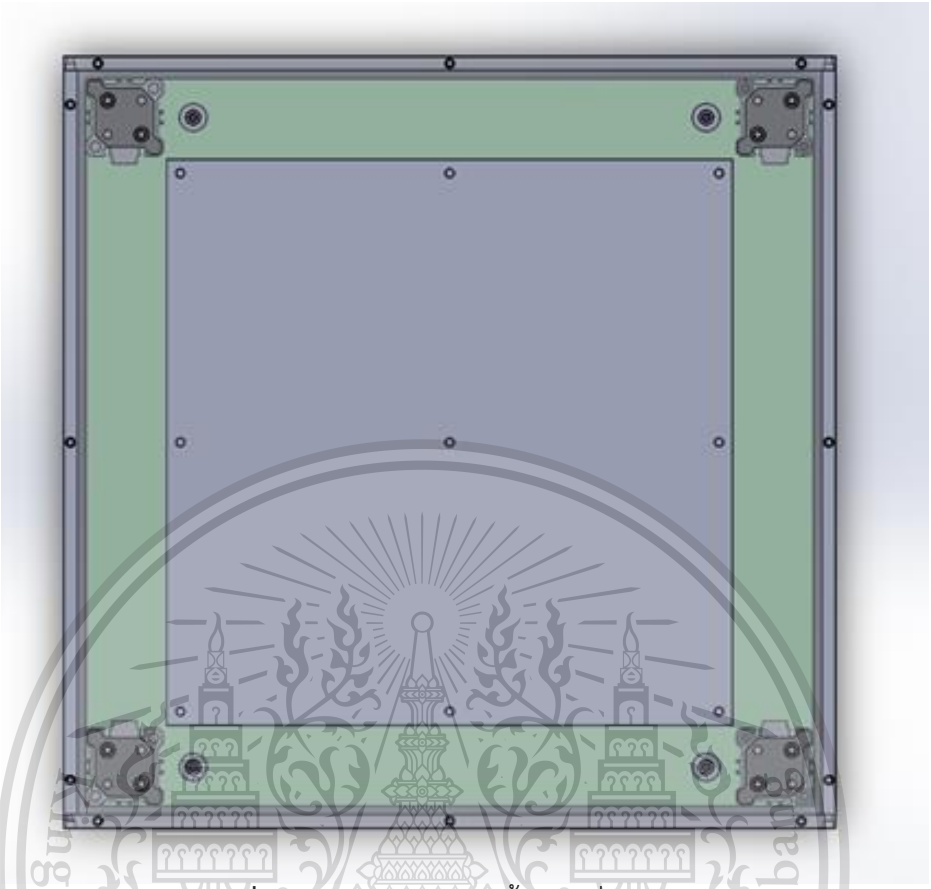
3.1 พื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานจะทำจากวัสดุอะลูมิเนียมที่มีขนาด 55x55x9.6 เซนติเมตร^3 ดังรูปที่ 3.1 มีระยะห่างกันระหว่างฝาแผ่นบนและฐานด้านล่างอยู่ระยะที่ 8 เซนติเมตร โดยการทำงานของพื้นเมื่อมีการเหยียบพื้นลงมาแล้วฝาบนและฐานด้านล่างจะมีระยะห่างกัน 6.5 เซนติเมตร การใช้งานเมื่อการเหยียบพื้นแล้วจะทำให้ด้านบนจะยุบตัวลงมาที่ระยะยุบตัวเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร และเมื่อเคลื่อนที่ออกจากพื้นจะมีสปริงผลักออกให้กลับสู่สภาพเดิมที่มะระยะห่างกันของฝาบนและฐานล่างที่ระยะ 8 เซนติเมตร ซึ่งใช้โปรแกรม Solid Works ในการออกแบบ โดยจะมีแบบพื้นดังรูปที่ 3.2 รูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4



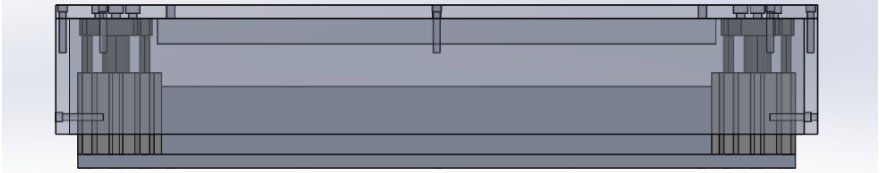
รูปที่ 3.1 พื้นเก็บเกี่ยวพลังงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 แบบด้านบนของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

รูปที่ 3.3 แบบด้านหน้าของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน



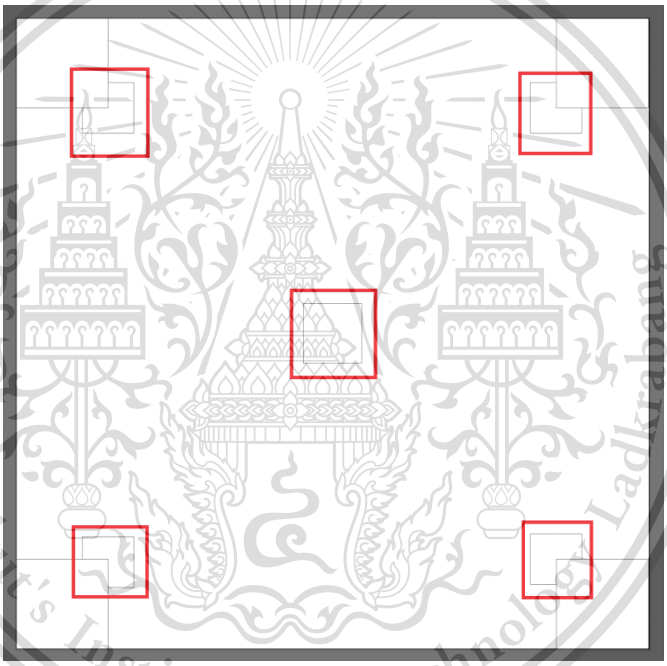
รูปที่ 3.4 ด้านข้างของพื้นเก็ฐเกี่ยวพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การออกแบบโครงสร้างภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

ระยะห่างจากฝาด้านบนและฐานด้านล่างมีระยะห่างกัน 8 เซนติเมตร เมื่อฝาด้านบนยุบตัวลงมาจะเหลือระยะห่างกันที่ 6.5 เซนติเมตร จึงต้องมีการติดตั้งในเพิ่มเติมเพื่อให้แผ่นด้านบนที่ติดแผ่นอะลูมิเนียมสามารถชนกับแผ่นวัสดุไทรโบอิเล็กทริกได้

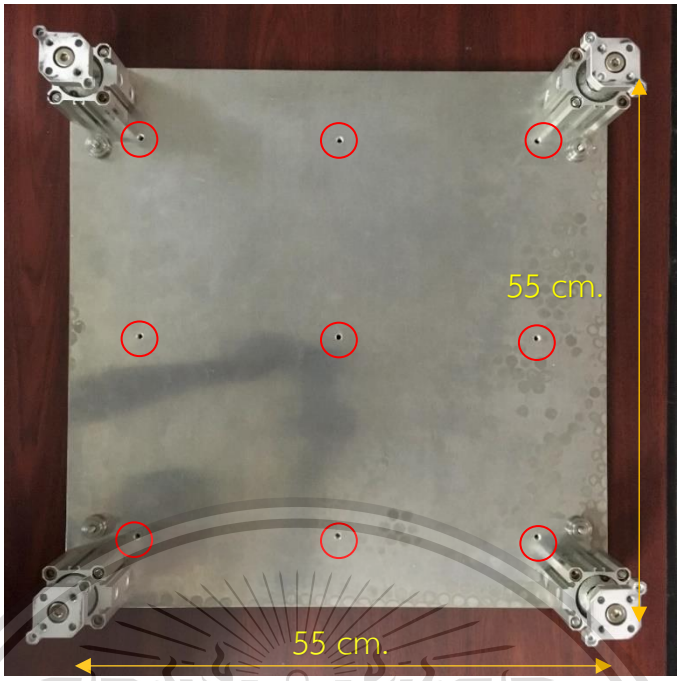
การออกแบบเสาเพื่อนำเข้ามาติดเพิ่มบริเวณมุมรอบ ๆ และตรงกลางของฝาด้านบนและฐานด้านล่าง ซึ่งใช้โปรแกรม Solid Works ในการออกแบบ เสาทุกเสาจะมีความสูงเท่ากันทั้งด้านบนและด้านล่างที่ 2.7 เซนติเมตร และเมื่อออกแบบเสร็จแล้วจะสั่งพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) แล้วจะมีแผ่นอะคริลิคขนาดหนา 0.5 เซนติเมตรสอดเชื่อมกันทุกเสาในแนวตั้งเพื่อช่วยรับน้ำหนักและเพิ่มความแข็งแรงภายในพื้นเมื่อมีการใช้งาน



รูปที่ 3.5 การวางตำแหน่งของเสาแต่ละต้น

กรอบสี่เหลี่ยมสีแดงจากรูปที่ 3.5 จะแสดงถึงตำแหน่งที่นำเสาที่ออกแบบมาไปติดบริเวณตรงกลางและทั้งสี่มุมของพื้น ซึ่งจะติดในตำแหน่งเดียวกันทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

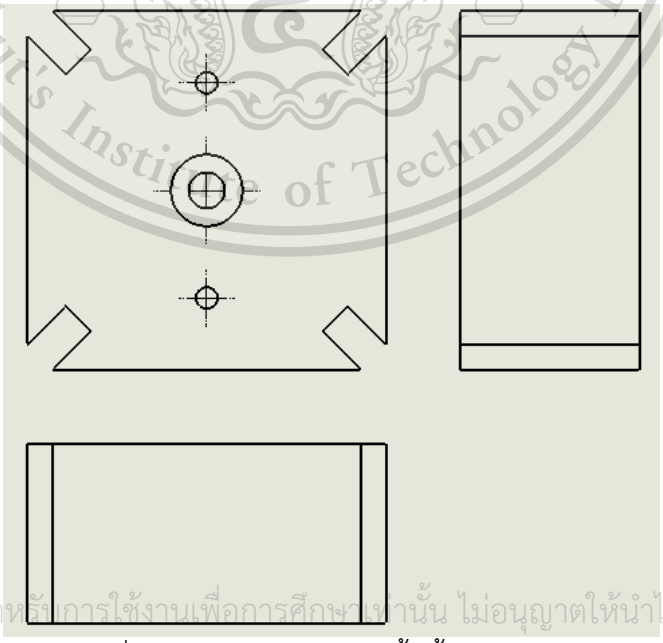
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งสำหรับยึดเสากับพื้นด้วยสกรู

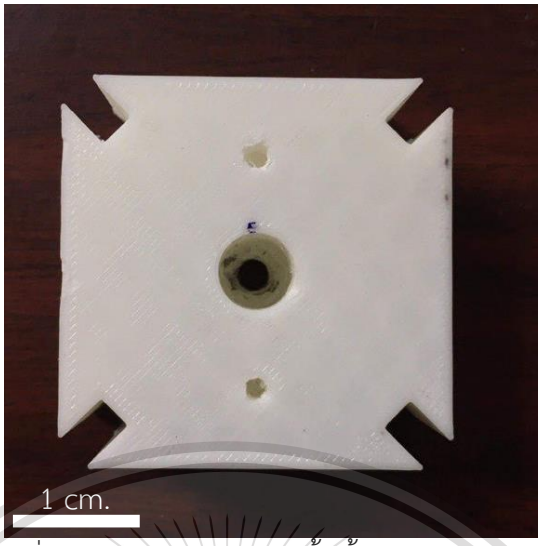
บริเวณวงกลมสีแดงจากรูปที่ 3.6 จะแสดงถึงตำแหน่งที่ใช้เสาทุกเสายึดติดกับพื้นด้วยสกรู โดยในการออกแบบเสาแต่ละเสาจะมีการออกแบบให้ตำแหน่งของสกรูอยู่บริเวณกึ่งกลางของเสาทุกเสา

3.2.1 การออกแบบเสาสำหรับติดตั้งบริเวณตรงกลางของพื้น



รูปที่ 3.7 แบบเสาที่ติดบริเวณตรงกลางของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

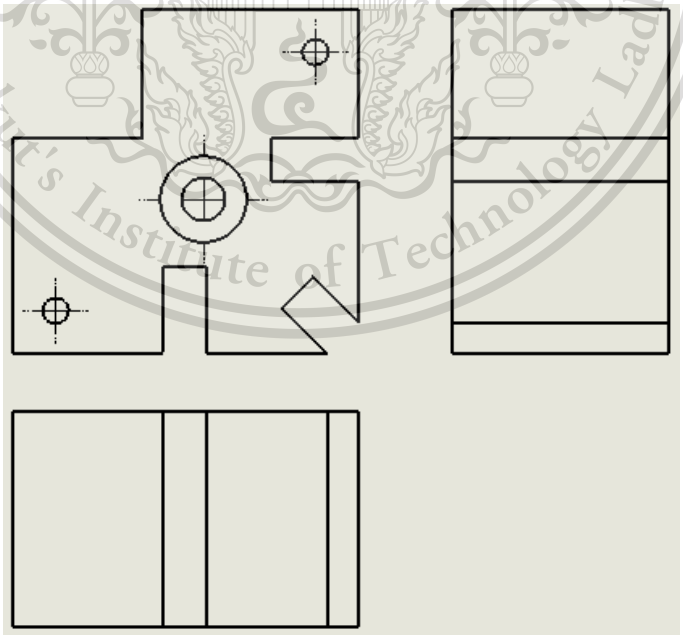
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 เสาที่ติดบริเวณตรงกลางของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

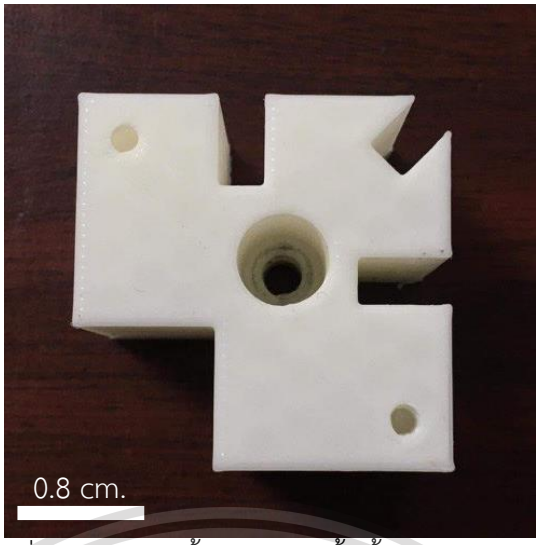
การติดตั้งเสาบริเวณตรงกลางของพื้นจะใช้เสาที่เป็นแบบเดียวกันทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง จากแบบเสาในรูปที่ 3.7 และรูปเสาในรูปที่ 3.8 จะมีการเว้นระยะมุมทั้งสี่มุมเข้ามาเพื่อใช้สำหรับการสอดแผ่นอะคริลิคที่หนา 0.5 เซนติเมตรและเชื่อมต่อกับเสาบริเวรณมุมทั้งสี่มุมของพื้นและเว้นรูตรงกลางเพื่อใช้สกรูในการยึดติดกับพื้น

3.2.2 การแบบเสาสำหรับติดตั้งบริเวณมุมทั้งสี่มุมของพื้น



รูปที่ 3.9 แบบเสาที่ติดบริเวณมุมทั้ง 4 มุมของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 เสาที่ติดบริเวณมุมทั้ง 4 มุมของพื้นทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

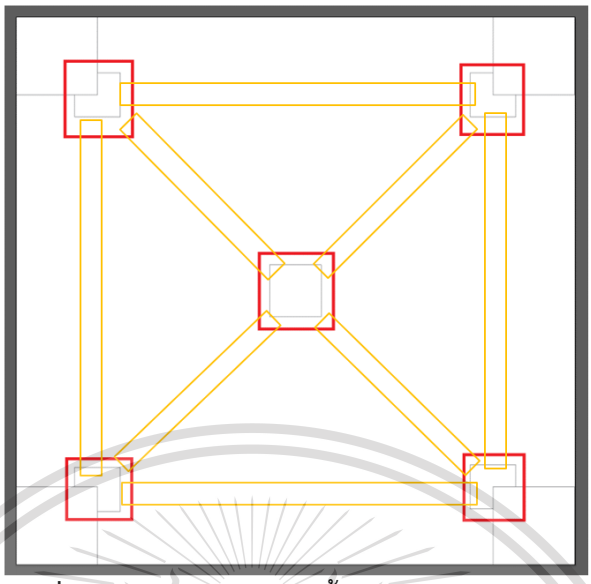
การติดตั้งเสาบริเวณมุมทั้งสี่มุมของพื้นจากแบบเสาในรูปที่ 3.9 และรูปเสาในรูปที่ 3.10 จะมีออกแบบให้มีการเว้นระยะสำหรับการสอดแผ่นอะคริลิคทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือด้านข้างของบริเวณเสาสองด้านละมุมหนึ่งมุมที่อยู่ระหว่างด้านสองด้าน เพื่อใช้สำหรับการสอดแผ่นอะคริลิคเข้ากับเสามุมอื่น ๆ และเสาตรงกลางที่จะช่วยรับน้ำหนักเมื่อมีการใช้งาน

3.3 การติดตั้งภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

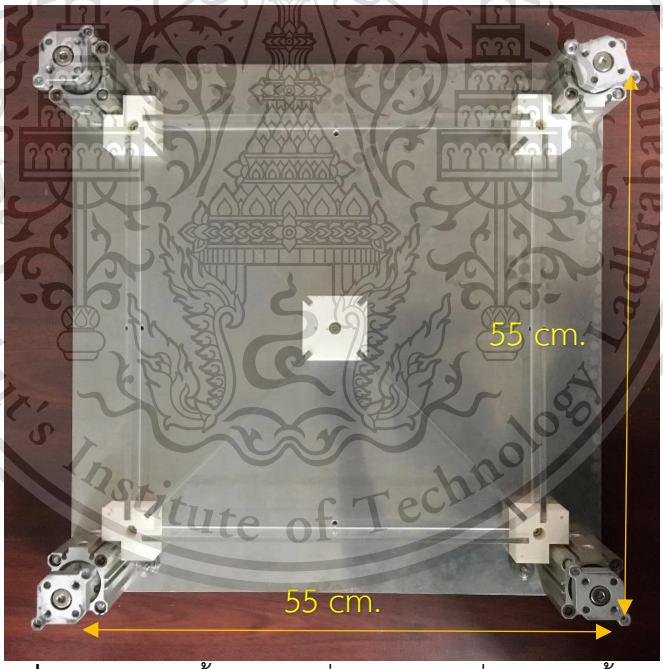
การออกแบบเสาทั้งหมดจะมีการติดตั้งในตำแหน่งเดียวกันทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่างของพื้น ซึ่งจะมีเสาตรงกลางรวมทั้งด้านบนและด้านล่างจำนวน 2 เสา และมีเสาบริเวณมุมรอบ ๆ รวมด้านบนและด้านล่างทั้งหมด 8 เสา เมื่อทำการติดตั้งเสาทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสอดแผ่นอะคริลิคหนา 0.5 เซนติเมตร ที่มีความสูงเท่ากับเสาที่ออกแบบมาเพื่อช่วยรับน้ำหนักของพื้นเมื่อมีการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 การติดตั้งเสาและแผ่นอะคริลิค



รูปที่ 3.11 การแสดงการติดตั้งเสาและแผ่นอะคริลิค

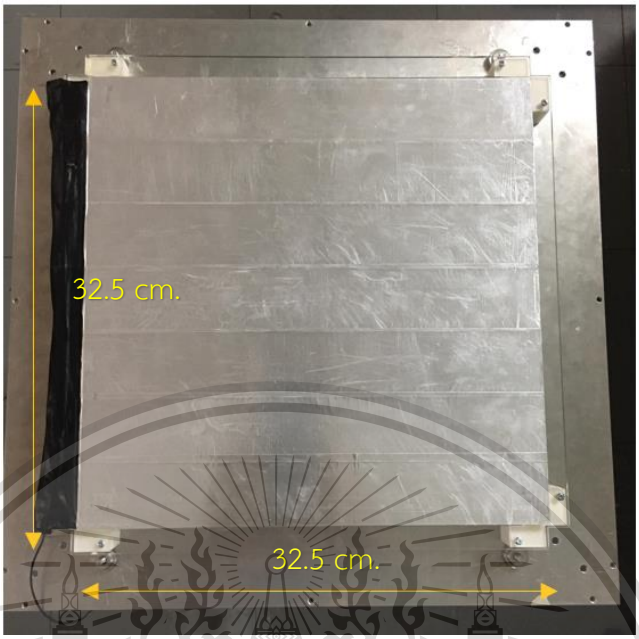


รูปที่ 3.12 การติดตั้งเสาและเชื่อมอะคริลิคเชื่อมกับเสาทั้งหมด

ตำแหน่งสีแดงจากรูปที่ 3.11 จะหมายถึงตำแหน่งของการติดตั้งเสาและสีเหลืองจะหมายถึงตำแหน่งของการสอดแผ่นอะคริลิคเข้าด้วยกันกับเสาทุกเสา ซึ่งจะติดตั้งในลักษณะเดียวกันทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง และเมื่อติดตั้งเสาและแผ่นอะคริลิคเรียบร้อยแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.12 หลังจากนั้นจะปิดเสาและอะคริลิคที่มีการติดตั้งไปก่อนหน้าด้วยแผ่นอะคริลิคหนา 0.3 เซนติเมตรทั้งฝาด้านบนและฐานด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การติดตั้งแผ่นอะลูมีเนียมและแผ่นเทปลอน



รูปที่ 3.13 แผ่นอะลูมิเนียม

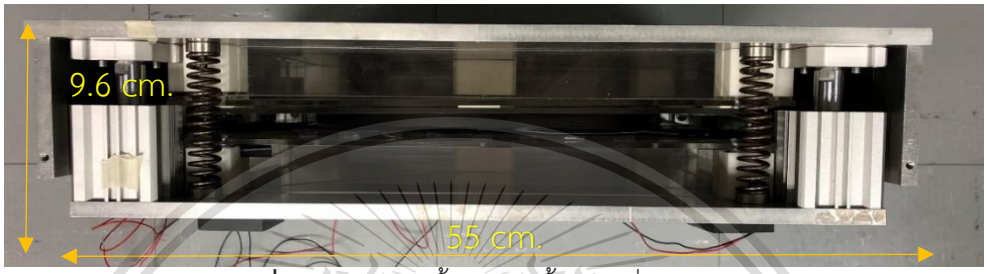
แผ่นอะลูมิเนียมจะนำไปติดบนแผ่นอะคริลิคขนาด 32.5x32.5x0.3 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะติดตั้งในส่วนของฝาด้านบนของพื้นภายหลังจากมีการประกอบเสาและแผ่นอะคริลิคในส่วนก่อนหน้าแล้ว

รูปที่ 3.14 แผ่นทองแดงและแผ่นเทปลอน

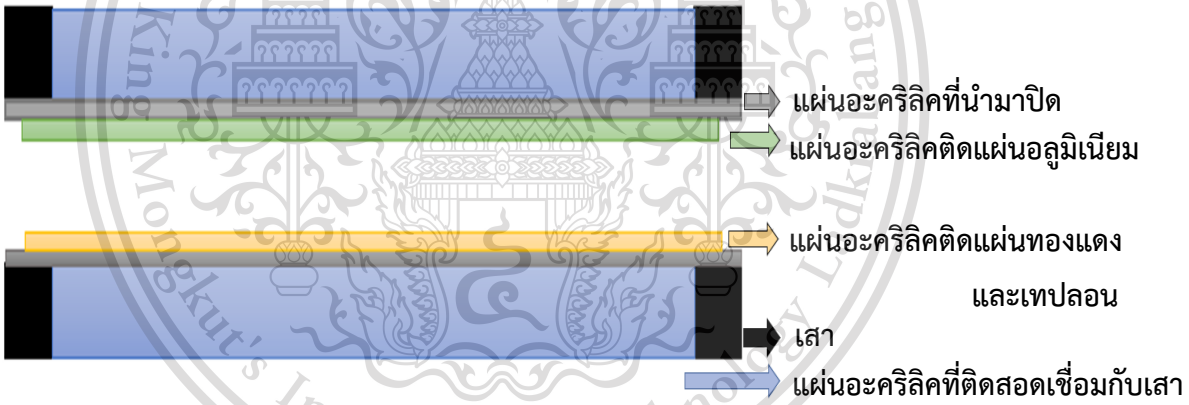
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แผ่นทองแดงไปจะนำไปติดบนแผ่นอะคริลิคขนาด 32.5x32.5x0.3 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.14 แล้วติดแผ่นเทปลอนที่เป็นวัสดุไทรโบอิเล็กทริกด้านบนแผ่นทองแดง ซึ่งจะวางไว้บนแผ่นอะคริลิคที่ปิดเสาไว้ด้านฐานล่าง

3.4 สรุปการติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน



รูปที่ 3.15 การติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน



รูปที่ 3.16 การจำลองการติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน

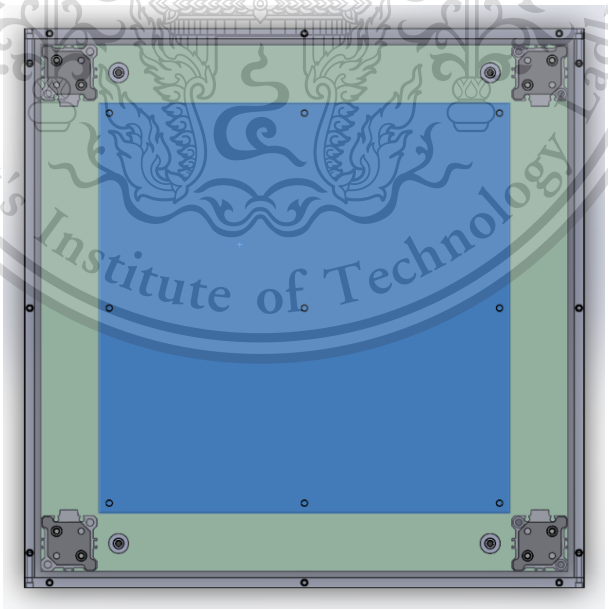
จากรูปที่ 3.16 จะเป็นการจำลองการติดตั้งภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานจากรูปที่ 3.15 และเมื่อมีการติดตั้งทุกชิ้นส่วนเสร็จสมบูรณ์แล้วจะสามารถสรุปความสูงและความหนาของสิ่งที่นำมาติดตั้งภายในพื้นได้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 ตารางความสูง/หนาของอุปกรณ์ที่นำมาติดด้านในของพื้น

อุปกรณ์ที่นำมาติดด้านในของพื้น	สูง/หนา (เซนติเมตร)
เสาล่าง และ แผ่นอะคริลิคที่ติดสอดเชื่อมกับเสา	2.7
เสาบน และ แผ่นอะคริลิคที่ติดสอดเชื่อมกับเสา	2.7
แผ่นอะคริลิคที่นำมาปิดเสาบน	0.3
แผ่นอะคริลิคที่นำมาปิดเสาล่าง	0.3
แผ่นอะคริลิคที่ติดแผ่นทองแดงและเทปลอน	0.3
แผ่นเทปลอน	0.1
แผ่นอะคริลิคที่ติดแผ่นอลูมิเนียม	0.3
รวม	**6.7**

ระยะห่างระหว่างแผ่นบนแล้วฐานล่างห่างกัน 6.5 เซนติเมตร แต่อุปกรณ์ที่นำมาติดด้านในนั้นมีความสูงรวมกันที่ 6.7 เซนติเมตร หากสูงเท่ากันที่ 6.5 เซนติเมตร จะทำให้ด้านบนและด้านล่างแค่สัมผัสกันเบา ๆ แต่จะไม่ชนกัน จึงออกแบบให้มีความสูงเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะให้แผ่นวัสดุ Triboelectric และแผ่นอลูมิเนียมสามารถชนกันได้อย่างเต็มที่ เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์จะได้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นเทปลอนที่เป็นวัสดุไทรโบอิเล็กทริกวางไว้ตรงกันในตำแหน่งสีฟ้าดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แบบพื้นเสร็จสมบูรณ์จากมุมบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลองคุณสมบัติเฉพาะของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก

4.1 การทดลองพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริก

เมื่อโครงสร้างภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานในแต่ละแบบเสร็จสิ้น จะเป็นการทำการทดลองเหยียบพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดและเหมาะสมที่สุด โดยการหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริคภายในโครงสร้างของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานนี้

สำหรับการทดลองเหยียบพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานนี้จะแบ่งออกเป็น 4 แบบ โดยการทดลองทั้ง 4 แบบใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติความเป็นไทรโบอิเล็กทริกชนิดเดียวกัน ซึ่งก็คือวัสดุเทปลอนขนาด 0.1 มิลลิเมตร หรือเท่ากับความหนาของกระดาษ A4 1 แผ่น และระยะห่างระหว่างโครงสร้างพื้นด้านบนกับพื้นด้านล่าง มีระยะเท่ากับ 15 มิลลิเมตร แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือโครงสร้างภายในพื้นของแต่ละแบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าโครงสร้างแบบใดจะได้ค่าคุณสมบัติเฉพาะมากที่สุดและเหมาะสมที่สุด

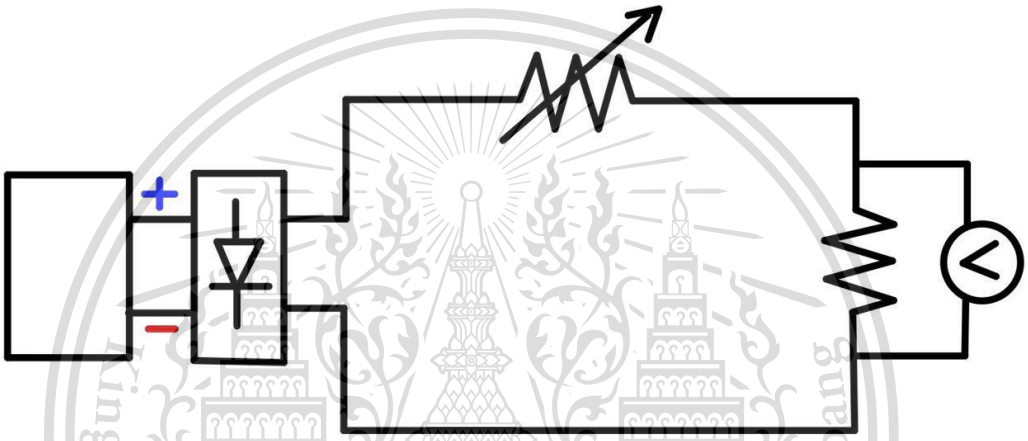
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติเฉพาะของพื้น

1. พื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน และโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน 2 แบบ
2. Oscilloscope
3. วงจรสำหรับการทดลอง (Voltage Divider)
4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (0.1-100 MΩ)
5. ตัวต้านทาน 100 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับการทดลองพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริกจะเป็นการเหยียบพื้นเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากโครงสร้างภายในแต่ละแบบ ลักษณะการเหยียบในแต่ละแบบจะเหมือนกัน คือในแต่ละค่าความต้านทาน 1 ค่าจะเหยียบทั้งหมด 10 ครั้ง หาค่าแรงดันไฟฟ้า จากนั้นคัดเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าจำนวน 5 ค่า ที่มีความใกล้เคียงกันแล้วนำมาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และวาดกราฟผลการทดลอง โดยจะทำการเหยียบทั้งหมดตั้งแต่ค่าความต้านทาน 0.1 MΩ ไปจนถึง 200 MΩ หรือจนกว่าจะเจอค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกที่ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในการทดลองจะต่อวงจรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 แบบพื้นฐาน

วิธีการทดลองจะนำโครงสร้างพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานไทรโบอิเล็กทริกจำนวน 1 เซลล์ขนาด 30x30 เซนติเมตรต่อผ่านวงจรเรียงกระแสที่มีคุณลักษณะเป็นวงจรบริดจ์ไดโอด แล้วนำไปต่อเข้ากับวงจรถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer) เพื่อเหยียบหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริคแบบพื้นฐาน

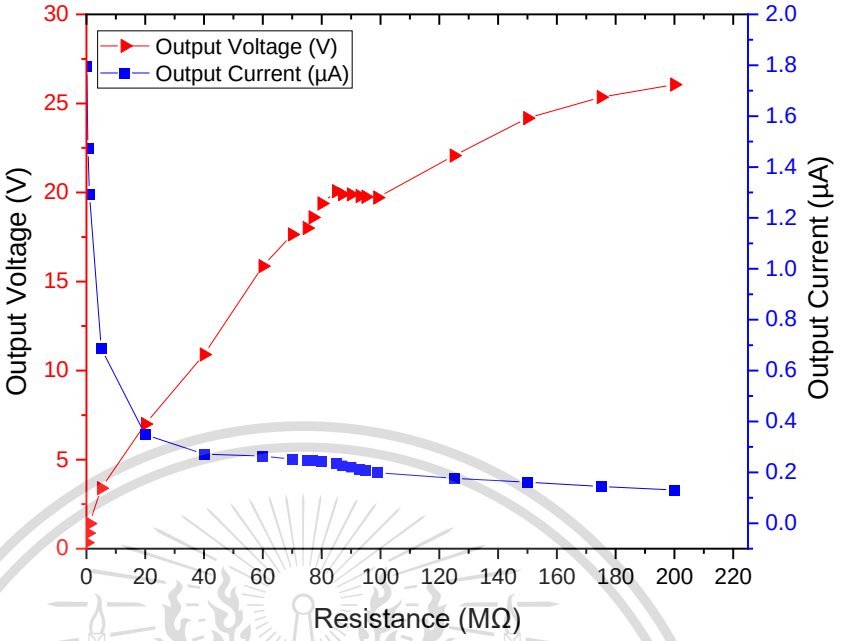
ผลการทดลองจะได้ค่า Optimal load ที่ 85 MΩ กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 4.733 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.240 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

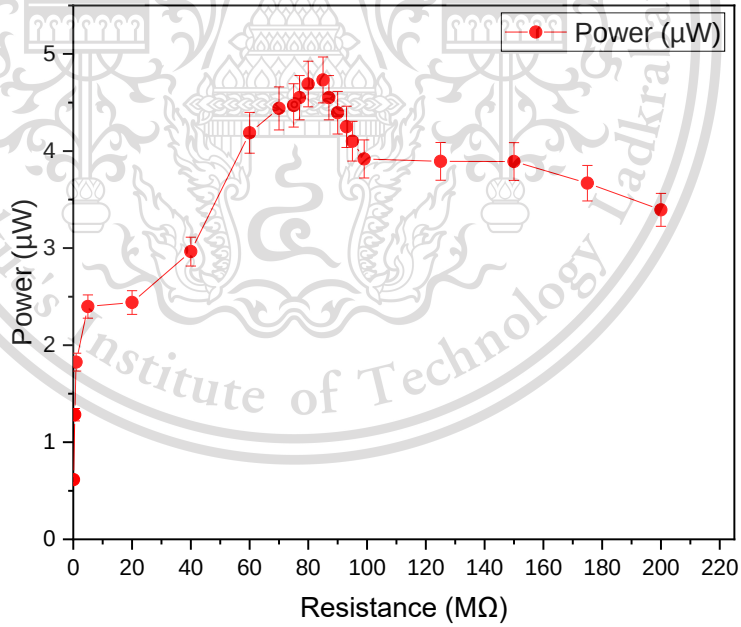
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแบบพื้นฐาน

	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	160	164	166	162	164	163.20	0.34	0.6152509	1.80
0.5	0.1	0.0909	136	132	136	134	132	134.00	0.87	1.2838540	1.47
1	0.1	0.0909	122	116	120	116	114	117.60	1.41	1.8255283	1.29
5	0.1	0.0909	61	64	62	62	63	62.40	3.39	2.3985562	0.69
20	0.1	0.0909	30.8	32.4	31.2	32.4	31.6	31.68	7.00	2.4398061	0.35
40	0.1	0.0909	25.2	25.2	24.4	23.6	25.2	24.72	10.90	2.9643413	0.27
60	0.1	0.0909	24	24.8	24.4	23.6	23.2	24.00	15.86	4.1880960	0.26
70	0.1	0.0909	23.2	23.6	23.2	21.6	22.8	22.88	17.64	4.4397560	0.25
80	0.1	0.0909	21.6	22.4	21.6	21.6	22.8	22.00	19.38	4.6904440	0.24
85	0.1	0.0909	22	20.8	22	21.2	21.2	21.44	20.07	4.7327994	0.24
90	0.1	0.0909	21.2	20.4	19.6	19.6	19.6	20.08	19.89	4.3953530	0.22
95	0.1	0.0909	18.8	18.4	18.8	20	18.4	18.88	19.75	4.1013643	0.21
99	0.1	0.0909	18.4	18.4	18	17.2	18.4	18.08	19.71	3.9193679	0.20
125	0.1	0.0909	15.6	15.6	16.4	16.8	15.8	16.04	22.07	3.8942143	0.18
150	0.1	0.0909	15.2	15.2	14.4	14.4	14	14.64	24.17	3.8924399	0.16
175	0.1	0.0909	12.6	12.8	13.6	13.6	13.2	13.16	25.35	3.6691101	0.14
200	0.1	0.0909	12.2	11.8	11.8	11.8	11.6	11.84	26.06	3.3940336	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



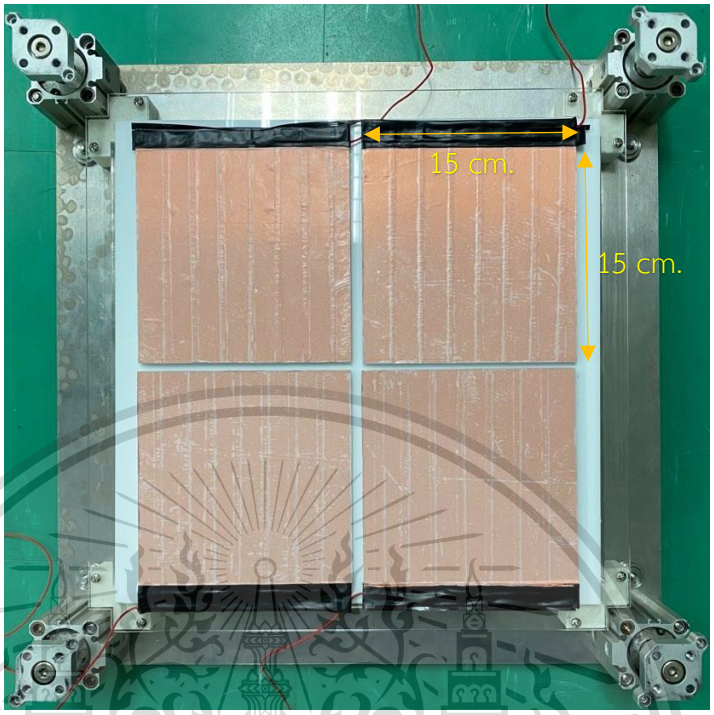
รูปที่ 4.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบพื้นฐาน



รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าของแบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 แบบแยกเซลล์ต่อขนาน



รูปที่ 4.4 แบบแยกเซลล์ 4 เซลล์

วิธีการทดลองจะนำโครงสร้างพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานไทรโบอิเล็กทริกจำนวน 4 เซลล์ขนาดเซลล์ละ 15x15 เซนติเมตรต่อผ่านวงจรเรียงกระแสที่มีคุณลักษณะเป็นวงจรบริดจ์ไดโอด โดย 1 เซลล์จะต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ไดโอดจำนวน 1 วงจรแล้วต่อขนานกันทั้ง 4 เซลล์ จากนั้นนำไปต่อเข้ากับวงจรถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer) เพื่อเหยียบหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกแบบเซลล์ย่อยนี้

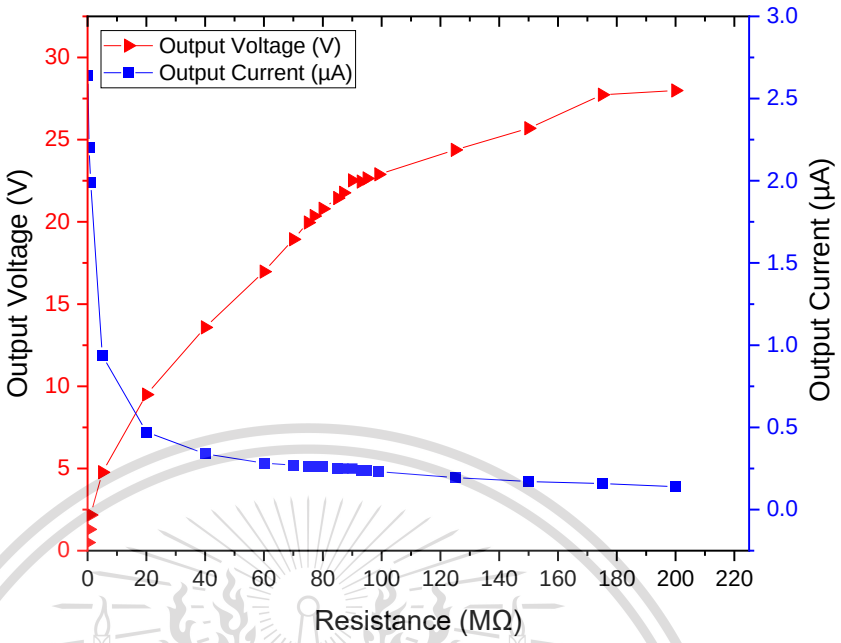
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ต่อขนาน

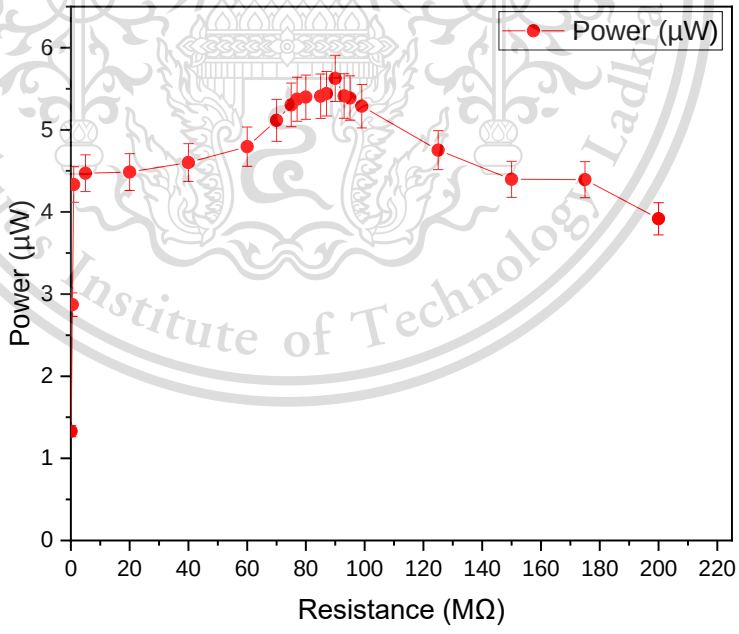
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	242	238	232	244	244	240.00	0.50	1.3305600	2.64
0.5	0.1	0.0909	206	196	202	194	204	200.40	1.30	2.8714514	2.20
1	0.1	0.0909	182	183	191	174	176	181.20	2.17	4.3340141	1.99
5	0.1	0.0909	88	84	86	88	80	85.20	4.77	4.4715686	0.94
20	0.1	0.0909	43.6	42	42.4	43.4	43.4	42.96	9.49	4.4865602	0.47
40	0.1	0.0909	30.8	31.2	30.8	31	30.6	30.80	13.58	4.6018526	0.34
60	0.1	0.0909	26.2	25.6	26	25	25.6	25.68	16.97	4.7949511	0.28
70	0.1	0.0909	25.4	24	23.2	24.8	25.4	24.56	18.94	5.1156849	0.27
75	0.1	0.0909	23.8	23.8	24.2	24.6	24.4	24.16	19.96	5.3035491	0.27
77	0.1	0.0909	23.4	25.2	23.2	23.8	24.4	24.00	20.35	5.3729280	0.26
80	0.1	0.0909	24.4	24	23.6	23	23	23.60	20.79	5.3974994	0.26
85	0.1	0.0909	23	23.4	22.6	23.2	22.4	22.92	21.45	5.4087606	0.25
87	0.1	0.0909	22.6	22.6	22.8	23.2	22.4	22.72	21.77	5.4396987	0.25
90	0.1	0.0909	22.2	22.4	23.6	22.6	22.8	22.72	22.52	5.6270788	0.25
93	0.1	0.0909	22.2	22.4	20.4	21.8	22.8	21.92	22.45	5.4121988	0.24
95	0.1	0.0909	22.6	21.4	21.8	20.8	21.6	21.64	22.64	5.3881401	0.24
99	0.1	0.0909	20.6	20.8	20.6	21	22	21.00	22.89	5.2875900	0.23
125	0.1	0.0909	18.6	18	17	17.2	17.8	17.72	24.38	4.7526798	0.19
150	0.1	0.0909	15.2	15.2	15.4	15.4	16.6	15.56	25.69	4.3970251	0.17
175	0.1	0.0909	14.6	14.8	14.4	14.4	13.8	14.40	27.73	4.3931290	0.16
200	0.1	0.0909	12.8	12.8	12.8	12.8	12.4	12.72	27.99	3.9173011	0.14

ผลการทดลองจะได้ค่า Optimal load ที่ 90 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 5.627 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.250 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบต่อขนาน 4 เซลล์



รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าของแบบต่อขนาน 4 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.3 แบบแยกเซลล์ต่ออนุกรม

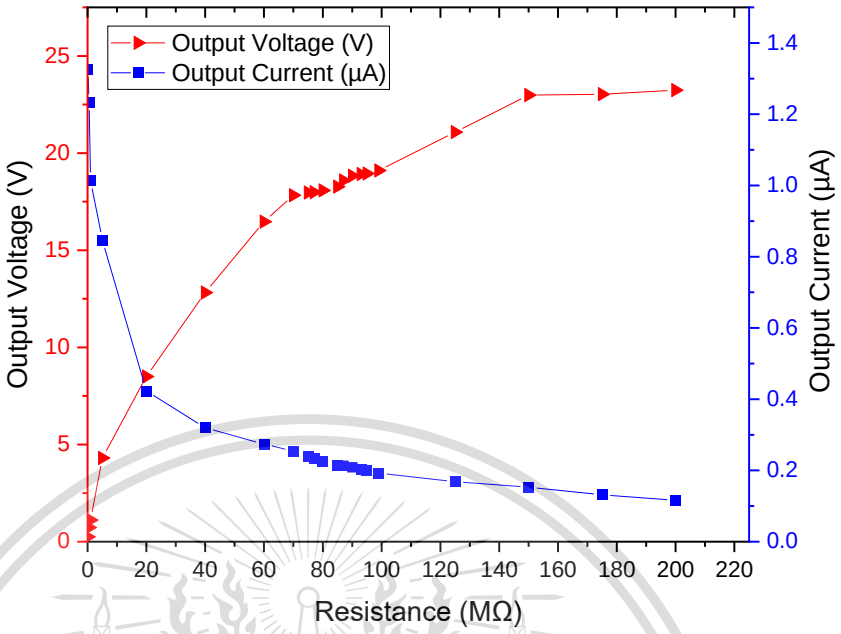
วิธีการทดลองจะนำโครงสร้างพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานไทรโบอิเล็กทริกจำนวน 4 เซลล์ขนาดเซลล์ละ 15x15 เซนติเมตรต่อผ่านวงจรเรียงกระแสที่มีคุณลักษณะเป็นวงจรบริดจ์ไดโอด โดย 1 เซลล์จะต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ไดโอดจำนวน 1 วงจร แล้วต่ออนุกรมกันทั้ง 4 เซลล์ แล้วนำไปต่อเข้ากับวงจรถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อเหยียบหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกแบบพื้นฐาน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ต่ออนุกรม

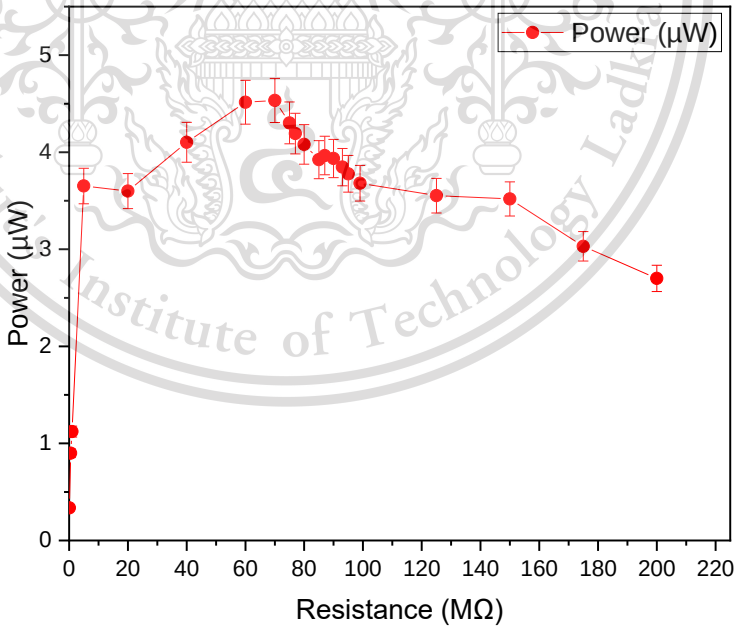
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	118	121	124	119	121	120.60	0.25	0.3359747	1.33
0.5	0.1	0.0909	111	113	114	114	109	112.20	0.73	0.9001021	1.23
1	0.1	0.0909	94	92	91	92	92	92.20	1.11	1.1221109	1.01
5	0.1	0.0909	77	76	78	77	77	77.00	4.31	3.6522640	0.85
20	0.1	0.0909	38.8	39.2	38	38.4	38	38.48	8.50	3.5996070	0.42
40	0.1	0.0909	29.4	29.2	28.8	29.2	28.8	29.08	12.82	4.1022307	0.32
60	0.1	0.0909	25.2	25.2	24.8	24.6	24.8	24.92	16.47	4.5153375	0.27
70	0.1	0.0909	23.8	23.4	23	23.4	22	23.12	17.83	4.5333862	0.25
75	0.1	0.0909	22.2	22.2	22	21.2	21.2	21.76	17.97	4.3021992	0.24
77	0.1	0.0909	20.2	21.2	21.2	21.4	22	21.20	17.98	4.1923763	0.23
80	0.1	0.0909	21.4	21.2	20.2	20.2	19.6	20.52	18.08	4.0805932	0.23
85	0.1	0.0909	20.6	21.2	19	18.6	18.2	19.52	18.27	3.9230890	0.21
87	0.1	0.0909	19.2	19.2	19.6	19.8	19.2	19.40	18.59	3.9660817	0.21
90	0.1	0.0909	19	18.4	19.4	18.8	19.4	19.00	18.83	3.9352610	0.21
93	0.1	0.0909	19	17.6	18.2	19	18.6	18.48	18.92	3.8467731	0.20
95	0.1	0.0909	18.8	18	17.8	18.6	17.4	18.12	18.95	3.7778156	0.20
99	0.1	0.0909	17.6	17.6	17.4	17.8	17.2	17.52	19.10	3.6803353	0.19
125	0.1	0.0909	15.4	15.2	15.2	15.4	15.4	15.32	21.08	3.5524555	0.17
150	0.1	0.0909	14.4	13.8	12.8	14.4	14.2	13.92	22.98	3.5189916	0.15
175	0.1	0.0909	12.4	11.4	12	12.2	11.8	11.96	23.03	3.0304793	0.13
200	0.1	0.0909	11.8	10.2	10.8	8.8	11.2	10.56	23.24	2.6998558	0.12

ผลการทดลองจะได้ค่า Optimal load ที่ 87 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 3.966 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.210 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบบต่ออนุกรม 4 เซลล์



รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าของแบบต่ออนุกรม 4 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.4 แบบแยกเซลล์ย่อย

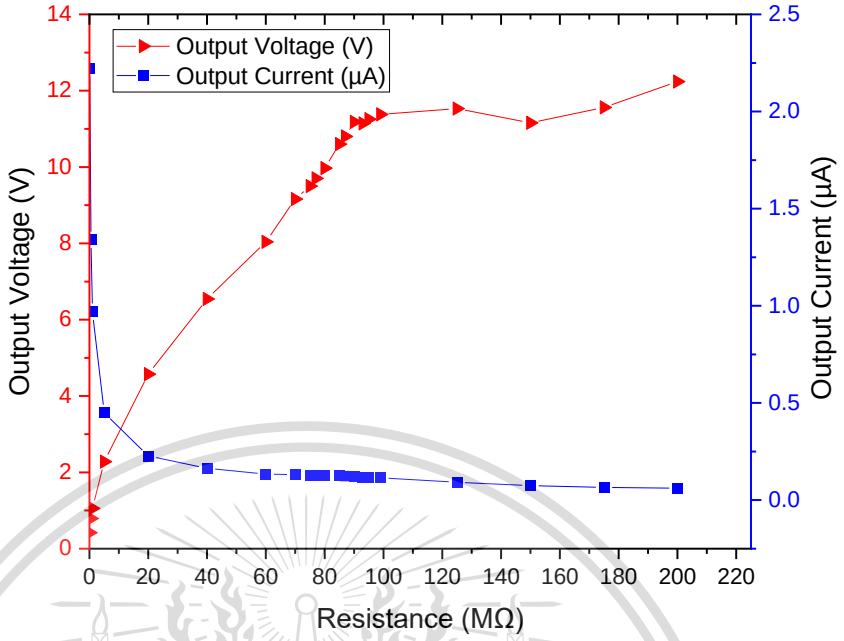
วิธีการทดลองจะนำโครงสร้างพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานไทรโบอิเล็กทริกขนาดเซลล์ละ 15x15 เซนติเมตรต่อผ่านวงจรเรียงกระแสที่มีคุณลักษณะเป็นวงจรบริดจ์ไดโอด โดยทำการทดลองครั้งละ 1 เซลล์ต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ไดโอดจำนวน 1 วงจร จากนั้นนำไปต่อเข้ากับวงจรถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer) เพื่อเหยียบหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกแบบแยกเซลล์ย่อย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 1

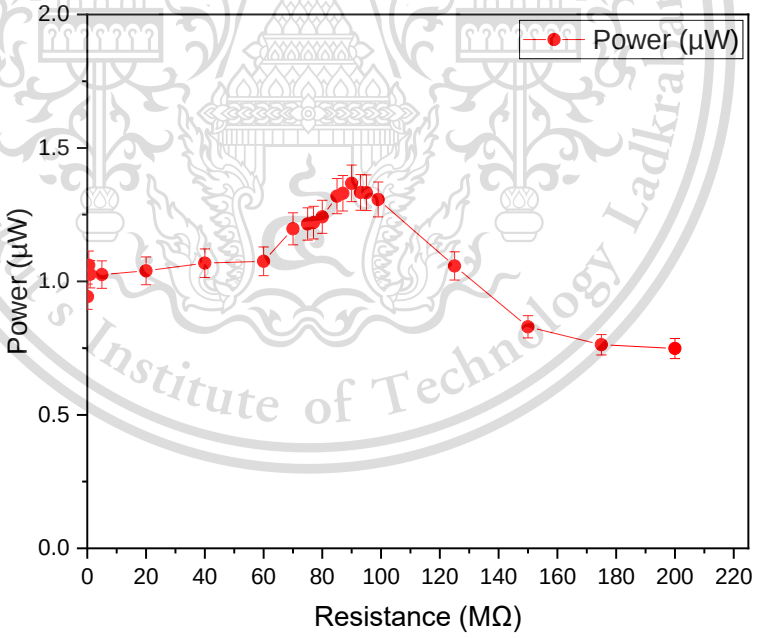
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	204	200	198	192	216	202.00	0.42	0.9425724	2.22
0.5	0.1	0.0909	123	120	124	121	121	121.80	0.79	1.0607197	1.34
1	0.1	0.0909	92	88	85	90	86	88.20	1.06	1.0268597	0.97
5	0.1	0.0909	41.6	40.8	40.8	41.2	39.6	40.80	2.28	1.0254182	0.45
20	0.1	0.0909	20.8	20.2	21.4	20.2	20.8	20.68	4.57	1.0396473	0.23
40	0.1	0.0909	15	15.2	14.6	14.8	14.6	14.84	6.54	1.0683144	0.16
60	0.1	0.0909	12.4	12.8	12	11.2	12.4	12.16	8.04	1.0751308	0.13
70	0.1	0.0909	12	12	12	11.8	11.6	11.88	9.16	1.1969608	0.13
80	0.1	0.0909	11.4	10.8	12.4	11.4	10.6	11.32	9.97	1.2418280	0.12
85	0.1	0.0909	11.8	12	10.6	11.4	10.8	11.32	10.60	1.3193542	0.12
90	0.1	0.0909	11	11.6	10.8	11.4	11.2	11.20	11.18	1.3674214	0.12
93	0.1	0.0909	10	10	11.4	11.8	11.2	10.88	11.14	1.3333692	0.12
95	0.1	0.0909	10.8	11.2	11.4	10.6	9.8	10.76	11.25	1.3321371	0.12
99	0.1	0.0909	10.6	10.8	10.4	10.6	9.8	10.44	11.38	1.3068333	0.11
125	0.1	0.0909	8.8	8	8	8.6	8.4	8.36	11.53	1.0578490	0.09
150	0.1	0.0909	6.8	6.8	6.8	6.4	7	6.76	11.16	0.8299141	0.07
175	0.1	0.0909	5.6	5.8	6.4	6	6.2	6.00	11.56	0.7626960	0.07
200	0.1	0.0909	5.4	6	5.8	5.4	5.2	5.56	12.24	0.7484492	0.06

ผลการทดลองเซลล์ย่อยที่ 1 จะได้ค่า Optimal load ที่ 90 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 1.367 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.120 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 1



รูปที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 1

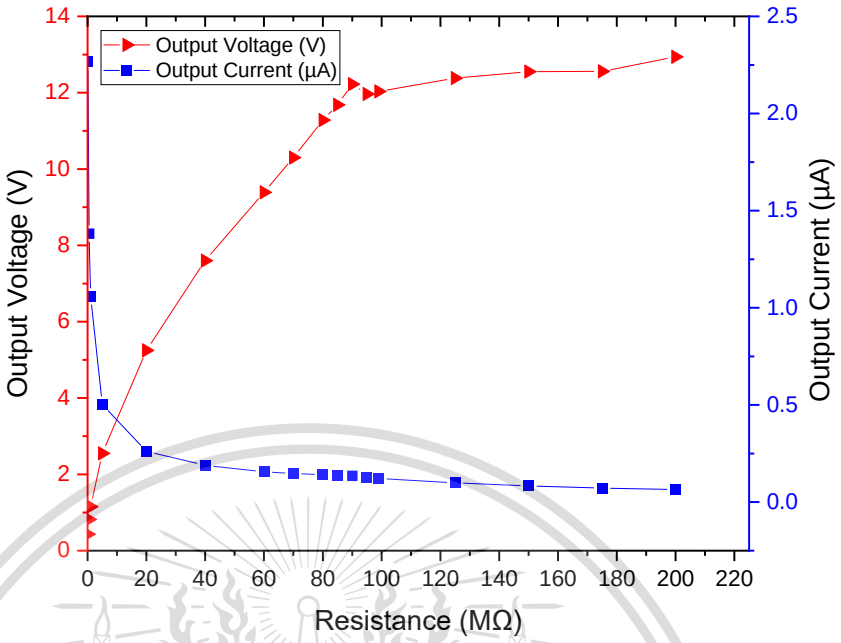
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 2

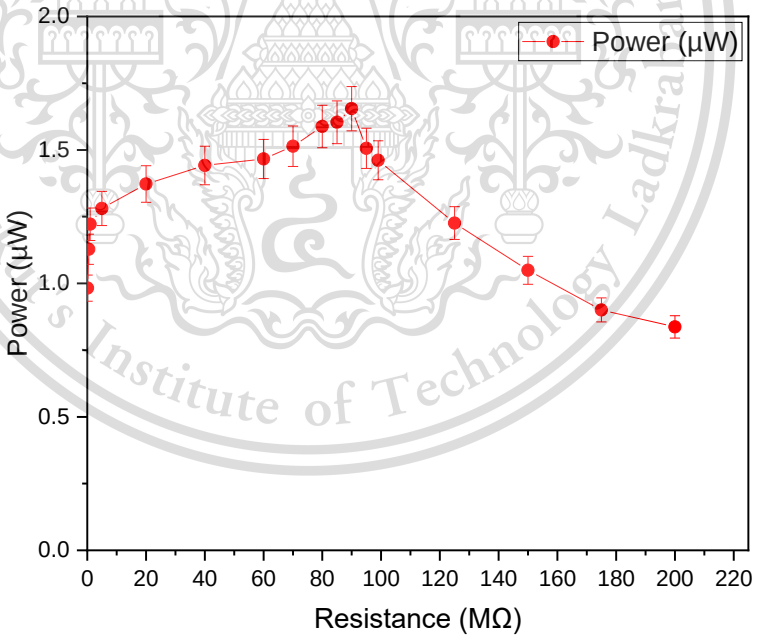
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	202	205	199	212	213	206.20	0.43	0.9821760	2.27
0.5	0.1	0.0909	125	127	124	130	122	125.60	0.82	1.1279382	1.38
1	0.1	0.0909	95	97	98	98	93	96.20	1.15	1.2215861	1.06
5	0.1	0.0909	45.2	45.2	46.8	46.4	44.4	45.60	2.55	1.2808858	0.50
20	0.1	0.0909	24.4	23.2	24.6	23.2	23.4	23.76	5.25	1.3723909	0.26
40	0.1	0.0909	16.6	17.4	17.6	17.4	17.2	17.24	7.60	1.4418026	0.19
60	0.1	0.0909	14.2	13.8	14.4	14.6	14	14.20	9.39	1.4661244	0.16
70	0.1	0.0909	13.2	13.4	13.4	13.8	13	13.36	10.30	1.5137703	0.15
80	0.1	0.0909	13	12.8	13.2	12.4	12.6	12.80	11.28	1.5877734	0.14
85	0.1	0.0909	13	12.4	12.4	12	12.6	12.48	11.68	1.6036061	0.14
90	0.1	0.0909	12.6	12.4	12.6	11.8	12.2	12.32	12.22	1.6545799	0.14
95	0.1	0.0909	12	11.6	11.2	11	11.4	11.44	11.97	1.5058316	0.13
99	0.1	0.0909	10.6	11	10.8	10.8	12	11.04	12.03	1.4613604	0.12
125	0.1	0.0909	9.4	9.4	9.2	8.8	8.2	9.00	12.38	1.2260160	0.10
150	0.1	0.0909	7.8	7.4	7.6	7.8	7.4	7.60	12.55	1.0489794	0.08
175	0.1	0.0909	6.4	6.4	6.6	6.8	6.4	6.52	12.56	0.9006253	0.07
200	0.1	0.0909	5.6	6	5.8	5.8	6.2	5.88	12.94	0.8370808	0.06

ผลการทดลองเซลล์ย่อยที่ 2 จะได้ค่า Optimal load ที่ 90 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 1.655 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.140 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 2



รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 2

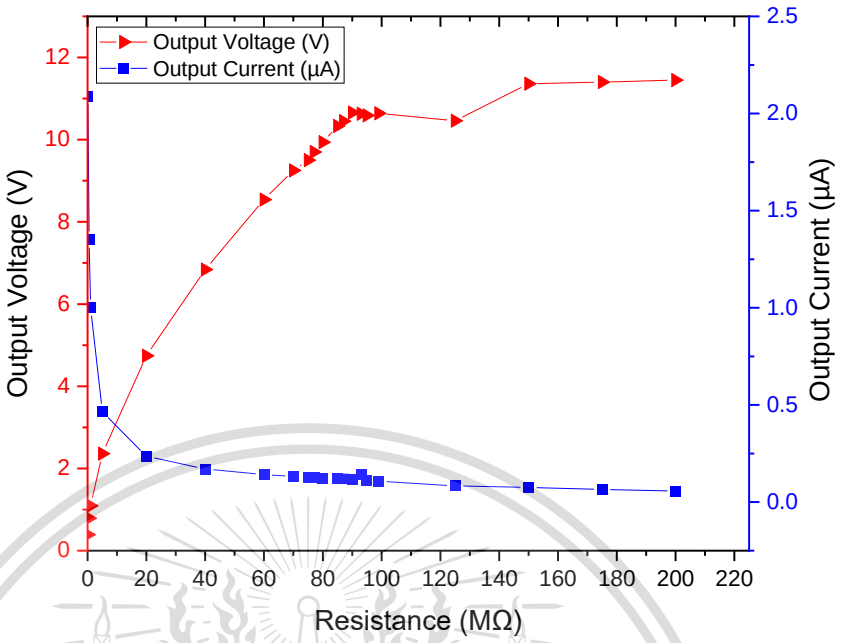
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 3

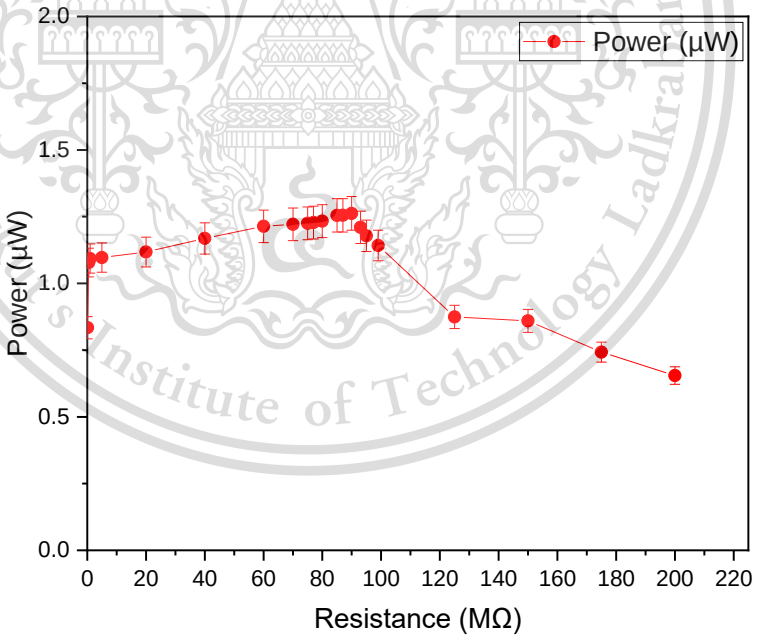
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	190	186	194	194	186	190.00	0.39	0.8339100	2.09
0.5	0.1	0.0909	121	126	123	120	124	122.80	0.79	1.0782086	1.35
1	0.1	0.0909	92	89	90	90	94	91.00	1.09	1.0930920	1.00
5	0.1	0.0909	41	41	42	43	44	42.20	2.36	1.0969974	0.46
20	0.1	0.0909	20.8	21.2	22.2	21.6	21.4	21.44	4.74	1.1174665	0.24
40	0.1	0.0909	15.8	14.8	16.2	15.2	15.6	15.52	6.84	1.1684623	0.17
60	0.1	0.0909	13.2	12.6	13	12.8	13	12.92	8.54	1.2137219	0.14
70	0.1	0.0909	12.2	11.6	11.8	12	12.4	12.00	9.25	1.2212640	0.13
80	0.1	0.0909	11.2	11.2	11.2	11.2	11.6	11.28	9.94	1.2330673	0.12
85	0.1	0.0909	10.6	10.6	11.6	11.4	11	11.04	10.33	1.2548930	0.12
90	0.1	0.0909	10.2	11	10.8	11	10.8	10.76	10.66	1.2620916	0.12
95	0.1	0.0909	10.4	10.6	9.8	9.6	10.2	10.12	10.59	1.1783801	0.11
99	0.1	0.0909	10.2	9.8	9.6	9.8	9.4	9.76	10.64	1.1421386	0.11
125	0.1	0.0909	7.4	7.4	7.8	8	7.4	7.60	10.46	0.8742554	0.08
150	0.1	0.0909	7	7.2	6.4	7	6.8	6.88	11.36	0.8596400	0.08
175	0.1	0.0909	6	5.8	5.8	6	6	5.92	11.40	0.7424930	0.07
200	0.1	0.0909	5	5	5.4	5.4	5.2	5.20	11.45	0.6546654	0.06

ผลการทดลองเซลล์ย่อยที่ 3 จะได้ค่า Optimal load ที่ 90 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 1.262 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.120 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 3



รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 3

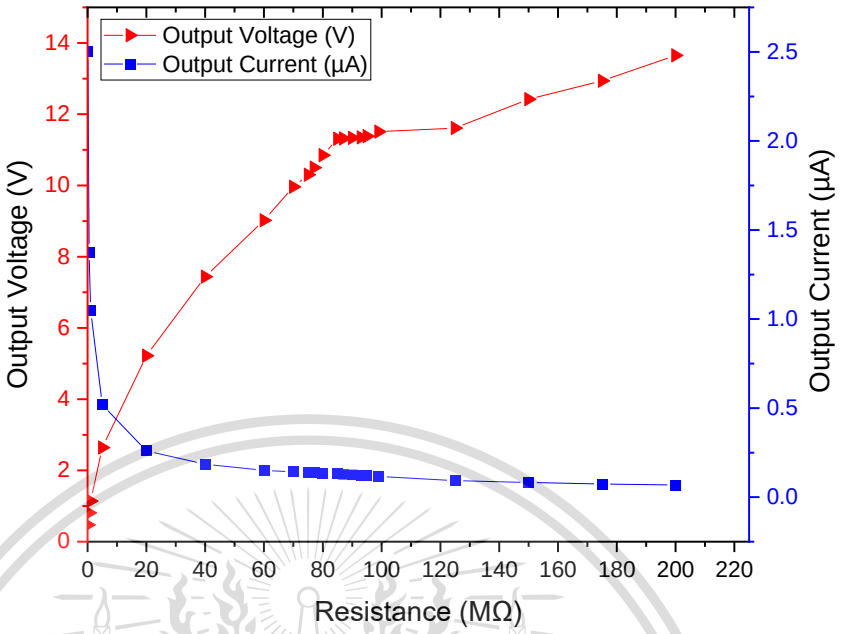
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแบบแยกเซลล์ย่อยเซลล์ที่ 4

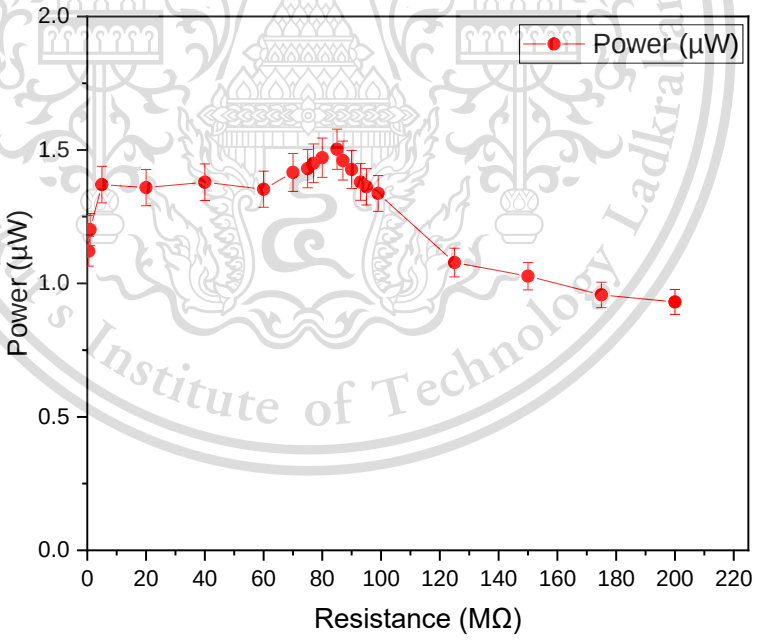
	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	226	228	222	228	233	227.40	0.47	1.1945186	2.50
0.5	0.1	0.0909	125	128	128	123	122	125.20	0.81	1.1207654	1.38
1	0.1	0.0909	95	96	94	96	96	95.40	1.14	1.2013531	1.05
5	0.1	0.0909	47.4	47.2	48	46.4	46.8	47.16	2.64	1.3700244	0.52
20	0.1	0.0909	23.6	24.4	24.6	23	22.6	23.64	5.22	1.3585634	0.26
40	0.1	0.0909	16.4	16.6	16.7	17.4	17.2	16.86	7.44	1.3789433	0.19
60	0.1	0.0909	12.8	13.4	13.8	14.4	13.8	13.64	9.02	1.3527666	0.15
70	0.1	0.0909	12.8	12	13.4	13	13.4	12.92	9.96	1.4157028	0.14
80	0.1	0.0909	11.6	12.6	12.8	12.4	12.2	12.32	10.85	1.4709232	0.14
85	0.1	0.0909	13.6	12.6	10.6	12.4	11.2	12.08	11.31	1.5024582	0.13
90	0.1	0.0909	11.6	11.6	11.2	11.4	11.4	11.44	11.34	1.4266531	0.13
95	0.1	0.0909	10.8	10.8	11.2	10.6	11	10.88	11.38	1.3620158	0.12
99	0.1	0.0909	10.4	11	10.4	10.8	10.2	10.56	11.51	1.3370481	0.12
125	0.1	0.0909	8.6	8.4	8.6	8.2	8.4	8.44	11.61	1.0781918	0.09
150	0.1	0.0909	7.6	7.8	6.6	7.6	8	7.52	12.42	1.0270118	0.08
175	0.1	0.0909	6.6	6.6	6	7.2	7.2	6.72	12.94	0.9567259	0.07
200	0.1	0.0909	6	6.2	6.2	6.2	6.4	6.20	13.65	0.9306708	0.07

ผลการทดลองเซลล์ย่อยที่ 4 จะได้ค่า Optimal load ที่ 85 MΩ กำลังไฟฟ้ามีค่า 1.502 μW และได้กระแสไฟฟ้า 0.130 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 4



รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าของเซลล์ย่อยที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

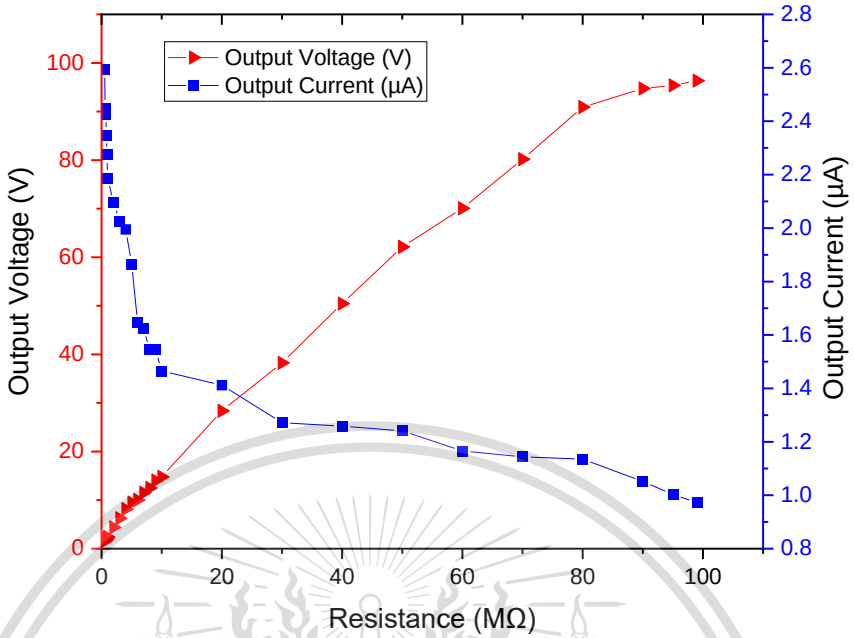
4.4 การทดลองที่ไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส

การทดลองแบบไม่ผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อเปรียบเทียบกับการผ่านวงจรเรียงกระแสว่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีลักษณะอย่างไร และเพื่อทดสอบว่าไม่สามารถนำมาใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานได้ เนื่องจากการไม่ผ่านวงจรเรียงกระแสนั้นอาจมีการเสริมหรือหักล้างกันของเฟส จึงทำให้ค่าแรงดันที่ได้ไม่ตรงตามคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก

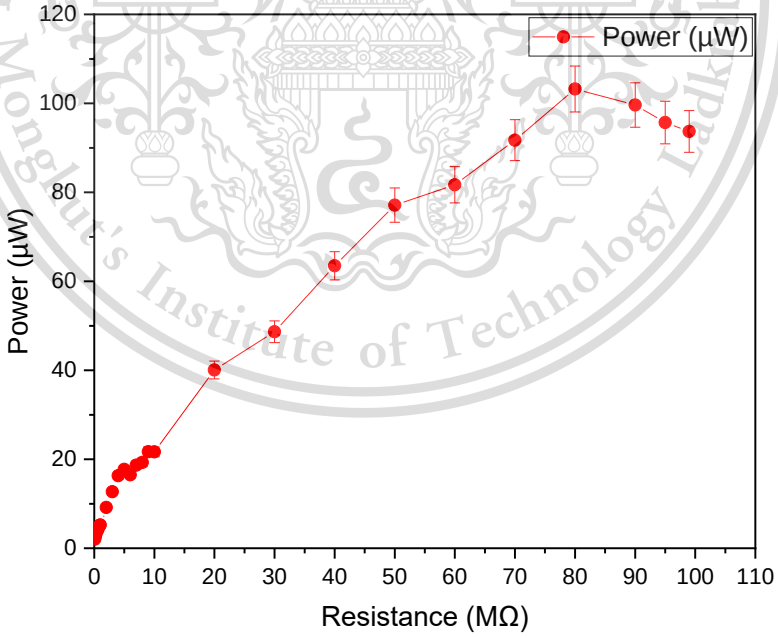
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองแบบพื้นฐานที่ยังไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส

	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	271	322	305	279	313	298.00	0.62	2.0513724	3.28
0.3	0.1	0.0909	238	280	296	245	240	259.80	1.11	3.1925627	2.86
0.5	0.1	0.0909	246	230	246	254	203	235.80	1.53	3.9755173	2.59
0.7	0.1	0.0909	212	244	244	203	200	220.60	1.91	4.6571793	2.43
0.9	0.1	0.0909	220	208	206	196	204	206.80	2.25	5.1276722	2.27
1	0.1	0.0909	212	196	186	180	220	198.80	2.38	5.2168301	2.19
2	0.1	0.0909	204	210	172	170	196	190.40	4.37	9.1717965	2.09
3	0.1	0.0909	170	172	172	203	204	184.20	6.26	12.6896854	2.03
4	0.1	0.0909	203	196	178	170	160	181.40	8.16	16.2884502	2.00
5	0.1	0.0909	154	148	188	188	170	169.60	9.49	17.7187226	1.87
6	0.1	0.0909	132	146	138	162	170	149.60	10.02	16.4941779	1.65
7	0.1	0.0909	154	152	152	136	144	147.60	11.51	18.6921821	1.62
8	0.1	0.0909	130	134	136	148	154	140.40	12.49	19.2982046	1.54
9	0.1	0.0909	144	144	142	128	144	140.40	14.04	21.6833760	1.54
10	0.1	0.0909	132	136	132	130	136	133.20	14.78	21.6632750	1.47
20	0.1	0.0909	138	108	116	140	140	128.40	28.37	40.0788274	1.41
30	0.1	0.0909	114	116	112	116	120	115.60	38.26	48.6559938	1.27
40	0.1	0.0909	118	118	114	112	110	114.40	50.45	63.4867834	1.26
50	0.1	0.0909	116	114	114	112	108	112.80	62.15	77.1191942	1.24
60	0.1	0.0909	100	118	112	104	96	106.00	70.06	81.6969560	1.17
70	0.1	0.0909	102	102	104	106	106	104.00	80.18	91.7304960	1.14
80	0.1	0.0909	116	98	98	100	104	103.20	90.91	103.2114758	1.14
90	0.1	0.0909	94	100	96	92	96	95.60	94.73	99.6281634	1.05
99	0.1	0.0909	86	88	86	92	90	88.40	96.35	93.6965744	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบพื้นฐานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส



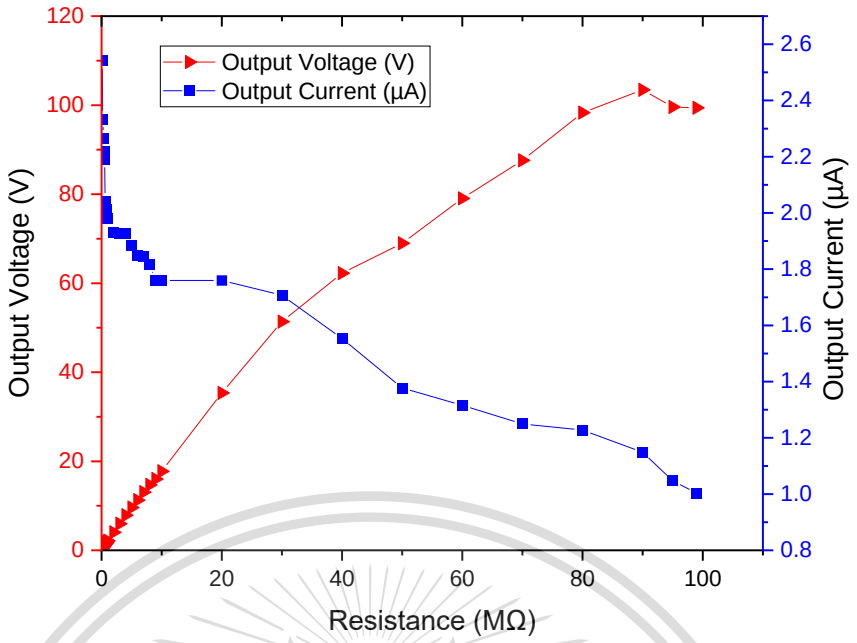
รูปที่ 4.18 กำลังไฟฟ้าแบบพื้นฐานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

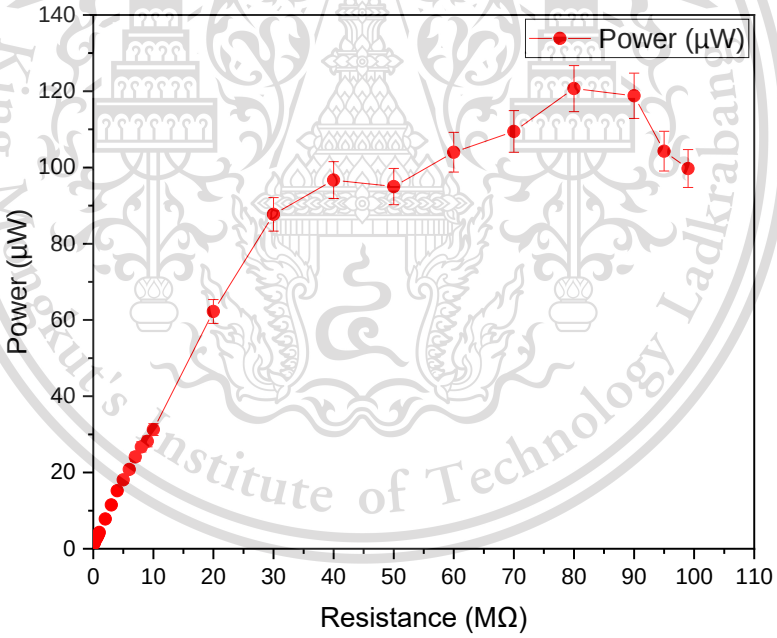
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแบบต่อขนานที่ยังไม่ผ่านวงจรเรียงกระแส

	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	220	227	240	248	220	231.00	0.48	1.2326391	2.54
0.3	0.1	0.0909	210	208	202	210	200	206.00	0.88	2.0072228	2.27
0.5	0.1	0.0909	194	206	192	214	190	199.20	1.29	2.8371658	2.19
0.7	0.1	0.0909	185	172	172	188	206	184.60	1.60	3.2611842	2.03
0.9	0.1	0.0909	176	180	190	190	164	180.00	1.96	3.8847600	1.98
1	0.1	0.0909	192	182	178	158	190	180.00	2.16	4.2768000	1.98
2	0.1	0.0909	170	198	166	178	166	175.60	4.03	7.8013461	1.93
3	0.1	0.0909	174	174	160	178	190	175.20	5.95	11.4799450	1.93
4	0.1	0.0909	174	184	172	186	160	175.20	7.88	15.1940448	1.93
5	0.1	0.0909	166	160	180	188	162	171.20	9.58	18.0546150	1.88
6	0.1	0.0909	152	174	186	150	178	168.00	11.25	20.8010880	1.85
7	0.1	0.0909	160	176	168	156	178	167.60	13.07	24.1010141	1.84
8	0.1	0.0909	172	168	172	164	150	165.20	14.70	26.7179282	1.82
9	0.1	0.0909	182	146	160	172	140	160.00	16.00	28.1600000	1.76
10	0.1	0.0909	136	172	168	148	176	160.00	17.76	31.2576000	1.76
20	0.1	0.0909	152	164	176	168	140	160.00	35.36	62.2336000	1.76
30	0.1	0.0909	154	170	146	146	160	155.20	51.37	87.7009126	1.71
40	0.1	0.0909	144	144	142	128	148	141.20	62.26	96.7165214	1.55
50	0.1	0.0909	136	130	128	116	116	125.20	68.98	95.0064174	1.38
60	0.1	0.0909	116	118	110	128	126	119.60	79.05	104.0055474	1.32
70	0.1	0.0909	122	116	116	120	94	113.60	87.58	109.4469658	1.25
80	0.1	0.0909	118	114	104	108	114	111.60	98.31	120.6971410	1.23
90	0.1	0.0909	94	106	104	124	94	104.40	103.46	118.8139234	1.15
95	0.1	0.0909	102	104	100	84	86	95.20	99.57	104.2793382	1.05
99	0.1	0.0909	78	88	92	98	100	91.20	99.40	99.7261056	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบ 4 เซลล์ต่อแบบขนานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 4.20 กำลังไฟฟ้าแบบ 4 เซลล์ต่อแบบขนานจากการทดลองที่ไม่ใช้วงจรเรียงกระแส

สำหรับกราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของแบบพื้นฐานกับแบบเซลล์ย่อยจำนวน 4 เซลล์ต่อขนานเพื่อหาความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก การไม่ได้ใช้วงจรเรียงกระแสในการกรองกระแสฝั่งลบออก (วัสดุไทรโบอิเล็กทริกเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ) จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์แต่ละอันที่ได้มาอาจมีค่าผิดเพี้ยนจากความเป็นจริง เนื่องจากสามารถเกิดการเสริมหรือหักล้างกันของเฟสแรงดันได้ (phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

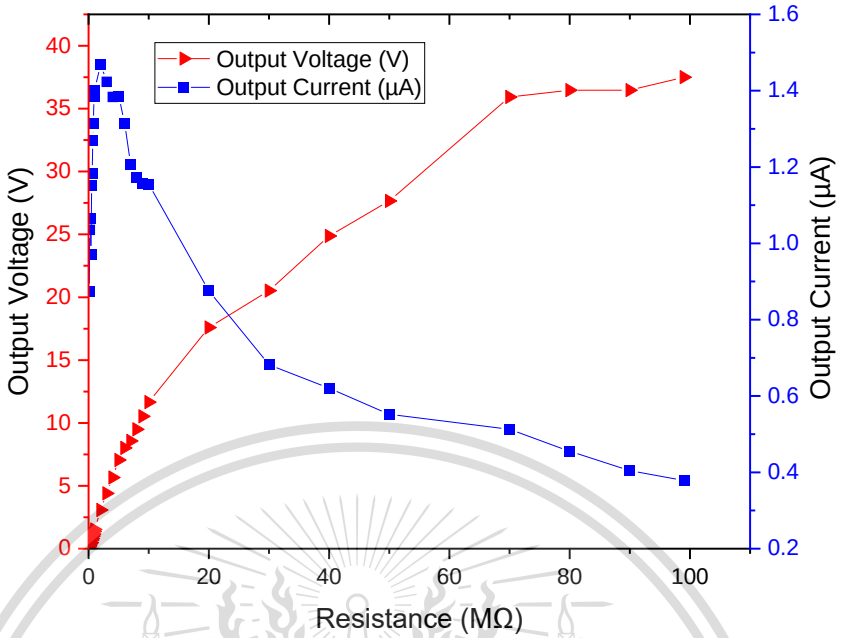
4.5 การทดลองที่แรงดันยังไม่ถึงจุดคงที่ก่อนทำการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุไทรโบอิเล็กทริก เมื่อเหยียบพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานค่าแรงดันจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่แรงดันมีค่าคงที่ค่าหนึ่งจึงจะสามารถเริ่มทำการทดลองได้ และในการทดลองนี้จะเป็นตัวอย่างของการทดลองที่ยังไม่มีการคงที่ของแรงดัน

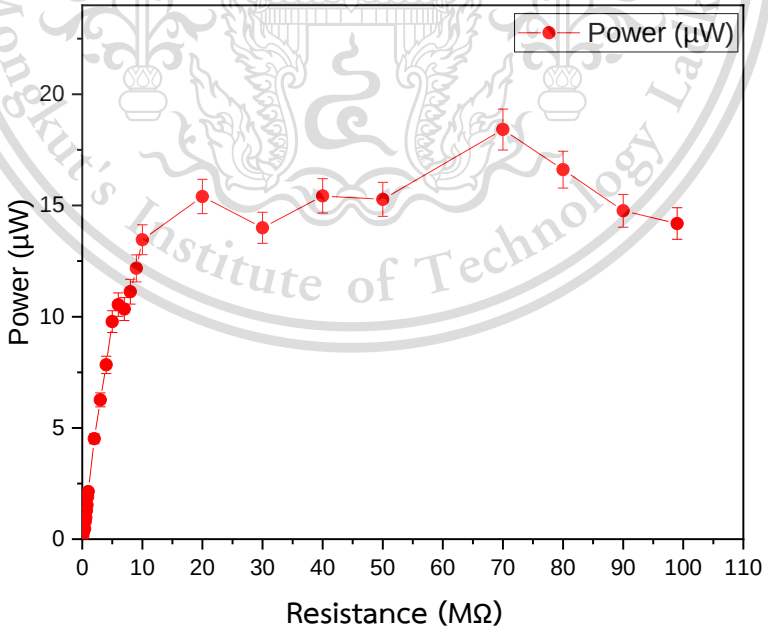
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองทีแรงดันยังไม่ถึงจุดคงที่ก่อนการทดลอง

	R2:100kΩ	Rp:1MΩ						V(R2)	V(Tribo)		
R1 (MΩ)	R2 (MΩ)	R2//Rp	Vm1 (mV)	Vm2 (mV)	Vm3 (mV)	Vm4 (mV)	Vm5 (mV)	Vm(avg) (mV)	Vs (V)	Pout (μW)	I (μA)
0.1	0.1	0.0909	85	75	79	79	79	79.40	0.16	0.1456307	0.87
0.3	0.1	0.0909	107	95	91	92	99	96.80	0.41	0.4432124	1.06
0.5	0.1	0.0909	94	116	101	101	112	104.80	0.68	0.7852874	1.15
0.7	0.1	0.0909	100	120	116	133	108	115.40	1.00	1.2744522	1.27
0.9	0.1	0.0909	132	119	130	110	139	126.00	1.37	1.9035324	1.39
1	0.1	0.0909	127	129	113	132	136	127.40	1.52	2.1424603	1.40
2	0.1	0.0909	146	146	121	132	123	133.60	3.07	4.5157869	1.47
3	0.1	0.0909	136	137	118	128	128	129.40	4.39	6.2623906	1.42
4	0.1	0.0909	136	125	130	120	118	125.80	5.66	7.8336918	1.38
5	0.1	0.0909	133	126	114	114	143	126.00	7.05	9.7796160	1.39
6	0.1	0.0909	121	118	117	124	118	119.60	8.01	10.5421659	1.32
7	0.1	0.0909	104	110	124	107	104	109.80	8.56	10.3440823	1.21
8	0.1	0.0909	106	105	112	115	95	106.60	9.48	11.1249252	1.17
9	0.1	0.0909	99	110	101	102	114	105.20	10.52	12.1737440	1.16
10	0.1	0.0909	108	114	108	97	98	105.00	11.65	13.4615250	1.16
20	0.1	0.0909	82	69	75	82	90	79.60	17.59	15.4032050	0.88
30	0.1	0.0909	58	62	65	60	65	62.00	20.52	13.9960040	0.68
40	0.1	0.0909	57	55	56	58	56	56.40	24.87	15.4308370	0.62
50	0.1	0.0909	55	49	50	49	48	50.20	27.66	15.2739624	0.55
70	0.1	0.0909	39	47	49	49	49	46.60	35.92	18.4170004	0.51
80	0.1	0.0909	40	41	43	43	40	41.40	36.47	16.6099864	0.46
90	0.1	0.0909	38	34	34	37	41	36.80	36.46	14.7625702	0.40
99	0.1	0.0909	37	37	30	35	33	34.40	37.49	14.1884864	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองที่ไม่ได้เหยียบพื้นให้ค่าแรงดันถึงจุดคงที่ก่อนทดลอง



รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้าจากการทดลองที่ไม่ได้เหยียบพื้นให้ค่าแรงดันถึงจุดคงที่ก่อนทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 มีความผิดพลาดตรงส่วนของกราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้า (Output Current) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความต้านทาน 0 - 5 MΩ เพราะในทางทฤษฎีเมื่อความต้านทานของวงจรมีค่ามากขึ้น กระแสไฟฟ้าต้องมีค่าลดลง และแรงดันไฟฟ้าต้องเพิ่มมากขึ้นตามกฎของโอห์ม (V = IR) ดังนั้นกราฟของกระแสไฟฟ้าจึงควรที่จะต้องมีค่าสูงที่สุด ณ จุดเริ่มต้นของกราฟ (R = 0 Ω) แล้วค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามความต้านทานที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การนำหลักการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้ศึกษา มาประยุกต์ใช้กับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหลักการไทรโบอิเล็กทริกนี้ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การออกแบบโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน และการทดลองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุไทรโบอิเล็กทริค

ในส่วนการออกแบบโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานนี้ แบ่งเป็น 2 แบบด้วยกัน โดยแบบแรกเรียกว่า แบบพื้นฐาน ลักษณะจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด 30x30 เซนติเมตร มีวัสดุเทปลอน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของไทรโบอิเล็กทริกที่ติดอยู่บนแผ่นอิเล็กโทรด (แผ่นตัวนำ) และแบบที่สองเป็นการนำแบบพื้นฐานมาแยกเป็นแผ่นย่อยรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือเรียกว่าแบบเซลล์ย่อย จะมีทั้งหมด 4 เซลล์ ในแต่ละเซลล์มีขนาด 15x15 เซนติเมตร มีวัสดุเทปลอนติดบนแผ่นตัวนำเช่นเดียวกันกับแบบพื้นฐาน โดยโครงสร้างทั้งสองแบบนี้ ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printer) เป็นเครื่องมือในการพิมพ์โครงสร้างที่ออกแบบขึ้นมาจากวัสดุ PLA (Polylactic Acid) ซึ่งมีความทนทานสูง แตกหักยาก รับน้ำหนักได้มาก จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานนี้

การทดลองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุไทรโบอิเล็กทริกภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน จะเป็นการเหยียบพื้นด้วยน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาต่อเข้ากับวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ความต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.1 - 200 MΩ และความต้านทาน 100 kΩ พร้อมกับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ในโครงสร้างแต่ละแบบ เพื่อหาค่าความต้านทานภายในของวัสดุไทรโบอิเล็กทริคที่นำมาใช้ (เทปลอน)

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด สรุปได้ว่าโครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานรูปแบบเซลล์ย่อย จำนวน 4 เซลล์ต่อขนานกันเป็นรูปแบบที่ดีที่สุด เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่า 5.627 μW และ Optimal load อยู่ที่ 90 MΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

- การควบคุมระยะห่างระหว่างพื้นด้านบนกับด้านล่างให้มีระยะยุบตัวคงที่ที่ขนานกัน ในการทดลองจึงต้องเหยียบบริเวณตรงกลางของพื้นเท่านั้น
- การทดลองแต่ละครั้ง วัสดุไทรโบอิเล็กทริกไม่มีความสเถียรแน่นอนของแรงดันไฟฟ้าจึงต้องทำการเหยียบพื้นให้แรงดันไฟฟ้าถึงจุดคงที่ก่อน จึงจะสามารถเริ่มทำการทดลองได้

5.3 แนวทางการพัฒนาและต่อยอด

- ในส่วนของการเก็บเกี่ยวพลังงานของพื้น สามารถเพิ่มกำลังการเก็บเกี่ยวไฟฟ้าได้ โดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างด้านในของพื้น เพื่อเพิ่มจำนวนชั้นในส่วนของการเก็บเกี่ยวพลังงานได้
- โครงสร้างภายในพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานหรือโมดูลภายในของพื้นเก็บเกี่ยวพลังงาน ยังสามารถออกแบบปรับเปลี่ยนรูปแบบเพื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น แบบซี่ (ภาคผนวก) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Thainiramit, **"Development of Energy Harvesting Using the Piezoelectric Methods,"** Msc Dissertaion,Dept. Physics., Prince of Songkla University, Songkla, 2013.

[2] C. Yochum, **"CD Studio Project II,"** 2 Oct. 2020. [Online]. Available: https://cat-yochum.medium.com/cd-studio-project-ii.

[3] L. Zhiming, J. Chen and J. Yang, **" Recent Progress in Triboelectric Nanogenerators as a Renewable,"** in *Journal of Nanomaterials*, 2016.

[4] PATTAYA TECHNICAL COLLEGE, **"การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด,"** Chonburi, 2546.

[5] N. WATJANATEPIN, **"บทที่ 2 วงจรเรียงกระแส,"** in *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร*, p. 8.

[6] D. A. Barkas, C. S. Psomopoulos, K. Kalkanis, D. Piromalis and A. Mouratidis, **"Sustainable Energy Harvesting through Triboelectric Nano – Generators: A Review of current status and applications,"** in *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability*, Athens, 2018.

[7] Y. Fu, O. Huajiang and D. R. Benjamin, **"Triboelectric energy harvesting from the vibro-impact of three cantilevered beams,"** in *Mechanical Systems and Signal Processing 121 (2019)*, 2019.

[8] Y. Ya, H. Zhang, R. Liu, X. Wen, T.-C. Hou and Z. L. Wang, **"Fully Enclosed Triboelectric Nanogenerators for Applications in Water and Harsh Environments,"** in *Energy Mater. 2013*, 2013.

[9] Y. Fang, L. Lin, S. Niu, P. K. Yang, Z. Wang, J. Chen, Y. Zhou, Y. Zi, J. Wang, Q. Liao, Y. Zhang and Z. L. Wang, **" Stretchable- Rubber- Based Triboelectric Nanogenerator,"** in *Funct. Mater. 2015*, 2015.

[10] W. Z. Lin, **"Triboelectric Nanogenerators as NewEnergy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors,"** in *the 2013 ACS Nano Lectureship Awards, presented*, Beijing, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[11] S. Ankanahalli, M. Ahmed, Y. Liu, B. Nanjegowda, X. Cheng, S. Shivanna, S. Ramakrishna, Z. Yu, X. Zhang and K. Sannathammegowda, **"Dry-Coated Graphite onto Sandpaper for Triboelectric Nanogenerator as an Active Power Source for Portable Electronics,"** in *Nanomaterials 2019*, Beijing, 2019.

[12] Z. Zhu, X. Kequan, Z. Xu, L. Haijun and Z. Hongze, **"Starch Paper-Based Triboelectric Nanogenerator for Human Perspiration Sensing,"** in *Nanoscale Research Letters (2018)*, Jiangsu, 2018.

[13] W. Jiaqi, Y. Zi, S. Li and C. Xiangyu, **"High-voltage applications of the triboelectric nanogenerator— Opportunities brought by the unique energy technology,"** in *Materials Research Society, 2020*, 2019.

[14] C. Bu, L. Fujing, Y. Kai, P. Jinbo, W. Licheng and K. Wang, **"Research Progress and Prospect of Triboelectric Nanogenerators as,"** in *Electron. Mater. 2020*, 2020.

[15] W. Jie, C. Wu, Y. Dai, Z. Zhao, A. Wang, T. Zhang and W. Z. Lin, **"Achieving ultrahigh triboelectric charge density for efficient energy harvesting,"** in *NATURE COMMUNICATIONS*, 2017.

[16] J. Xiong, P. Cui, X. Chen, J. Wang, K. Parida, M.-F. Lin and P. S. Lee, **"Skin-touch-actuated textile-based triboelectric nanogenerator with black phosphorus for durable biomechanical energy harvesting,"** in *NATURE COMMUNICATIONS*, 2018.

[17] S. Vladislav, S. Kopyl, M. Santos and L. Kholkin, **"Natural and Eco-Friendly Materials for Triboelectric Energy Harvesting,"** in *Nano-Micro Lett.*, 2020.

[18] Y. Chang, J. Park, K. Dogyun and YounTae, **"Corrugated Textile based Triboelectric Generator for Wearable Energy Harvesting,"** in *SCIEBTIFIC REPORTS*, 2017.

[19] Y. Fu, O. Huajiang and D. R. Benjamin, **"Nonlinear dynamics and triboelectric energy harvesting from a three-degree-of-freedom vibro-impact oscillator,"** in *Nonlinear Dyn (2018)*, 2018.

[20] T. Zhumei, J. He, X. Chen, T. Wen, C. Zhai, Z. Zhang, J. Cho, X. Choua and Xue, **"Core– shell coaxially structured triboelectric nanogenerator for energy harvesting and motion sensing,"** in *RSC Adv., 2018*, 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[21] W. Yang, Y. Yang, Wang and Z. Lin, **"Triboelectric nanogenerators as flexible power sources,"** in *Flexible Electronics (2017)*, 2017.

[22] G. Erik, L. Cecchini, M. Bevione and C. Alessandro, **" Triboelectric Characterization of Colloidal TiO2 for Energy Harvesting Applications,"** in *Nanomaterials 2020*, 2020.

[23] X. Dai, L. Xiaofei, L. Yanling, P. Deng and C. Tang, **"A Maximum Power Transfer Tracking Method for WPT Systems with Coupling Coefficient Identification Considering Two-Value Problem,"** in *Energies 2017*, 2017.

[24] K. Navjot, J. Bahadur, V. Panwar, P. Singh, K. Rathi and P. Kaushik, **"Effective energy harvesting from a single electrode based triboelectric nanogenerator,"** in *SCIENTIFIC REPORTS*, 2016.

[25] S. Jung, M. Kang, Seok-Jin, W. Zhong-Lin, K. Sang-Woo and K. Chong-Yun, **"High Output Piezo/Triboelectric Hybrid Generator,"** in *SCIENTIFIV REPORTS*, 2015.

[26] H. Zou, Y. Zhang and L. Guo, **"Quantifying the triboelectric series,"** in *NATURE COMMUNICATIONS*, 2019.

[27] K. Y. Hwan, N. Goli and Y. J. Su, **"Multi-stacked PDMS-based triboelectric generators with conductive textile for efficient energy harvesting,"** in *RSC Adv., 2015*, 2015.

[28] S. Myeong-Lok, H. Jin-Woo, J. Seung-Bae, and M. Yang-Kyu, **"Floating Oscillator-Embedded Triboelectric Generator for Versatile Mechanical Energy Harvesting,"** in *SCIENTIFIC REPORTS*, 2015.

[29] P. Thainiramit, P. Yingyong and D. Isarakorn, **"Impact-Deiven Energy Harvesting : Piezoelectric,"** in *Sensors*, 2020.

[30] L. Congju, C. Ran and Z. Xiuling, **"Breathable Materials for Triboelectric Effect-Based,"** in *Appl. Sci. 2018*, Beijing, 2018.

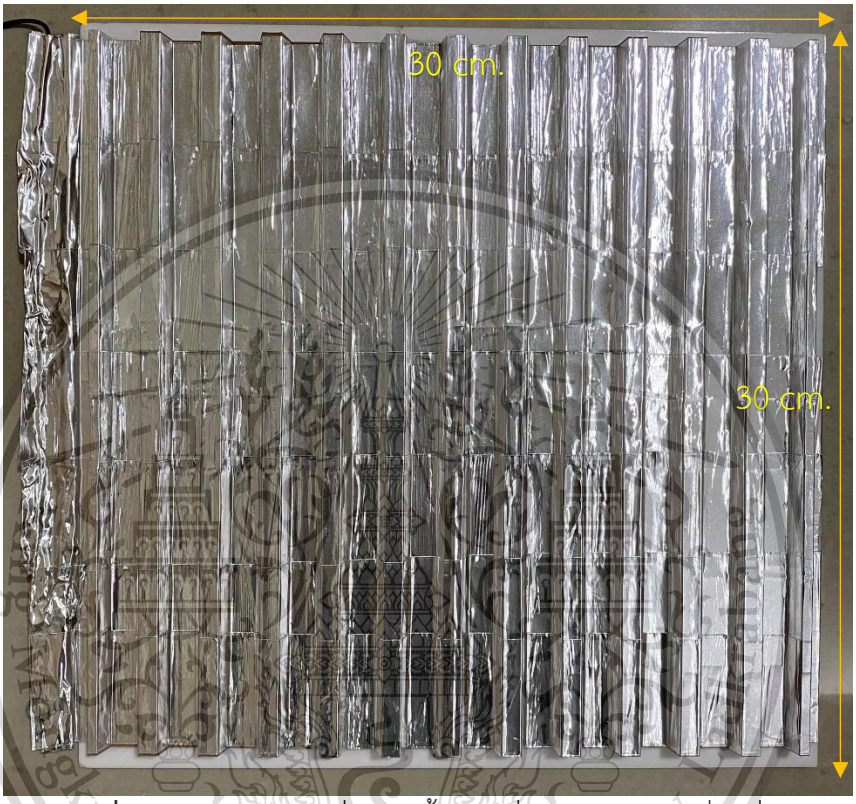
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

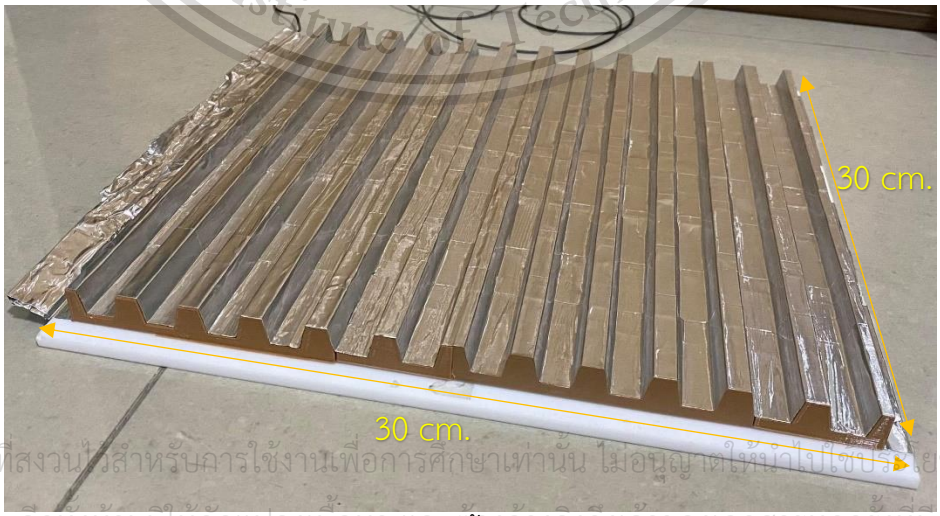
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่

พื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่ทำขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบแล้วนำผลที่ได้มาจากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับแบบพื้นฐานและแบบ 4 เซลล์ที่ได้ทดลองไปก่อนหน้า แต่เนื่องจากสถานการณ์ระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้มีการปิดสถาบันจึงทำให้ไม่สามารถทดสอบแบบซี่ต่อได้



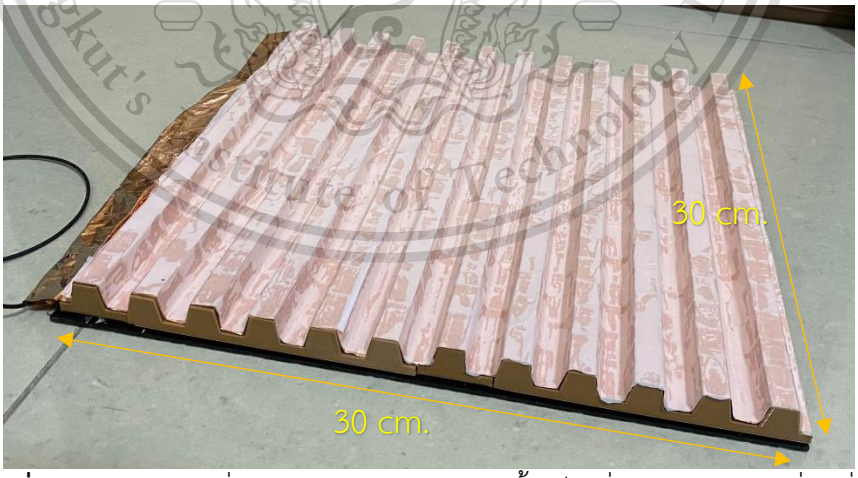
รูปที่ 1 แผ่นอะลูมิเนียมที่ติดกับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่รูปที่ 1



รูปที่ 2 แผ่นอะลูมิเนียมที่ติดกับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3 แผ่นเทปลอนที่ติดกับทองแดงแล้วติดกับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่รูปที่ 1



รูปที่ 4 แผ่นเทปลอนที่ติดกับทองแดงแล้วติดกับพื้นเก็บเกี่ยวพลังงานแบบซี่รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.