

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา

MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FOR WATCHES



ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๖๖

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา

MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FOR WATCHES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ฉบับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2555

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FOR WATCHES



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กสำหรับนาฬิกา

MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FOR WATCHES

ผู้จัดทำ

นายรัชพล สีลพิพัฒน์ 52010499

นายภาณุพงศ์ โลจรัส 52010907

นายวัชรินทร์ กิจวิไลรักษ์ 52011092

นายหฤษฎ์ เอี่ยมประภากุล 52011360

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ดอน อิศรารกร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา

โดย

นายรัชพล	สีลพิพัฒน์	52010499
นายภาณุพงศ์	โลจรัส	52010907
นายวัชรินทร์	กิจวีไธรักษ์	52011092
นายหฤษฎ์	เอี่ยมประภากุล	52011360

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ดอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนไหวแต่ละครั้งมาใช้ประโยชน์ โดยอาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเป็นส่วนกำเนิดพลังงานของอุปกรณ์ โดยจุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือการทำให้นาฬิกาสามารถเดินได้โดยไม่ต้องใส่ถ่าน ขั้นตอนดำเนินการเริ่มจากออกแบบและประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา โดยการศึกษาและวิเคราะห์หาขนาดของเพียโซอิเล็กทริกและนำมาทำเป็นส่วนที่เป็นตัวกำเนิดพลังงาน โดยจากการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนนี้ จะใช้การผลึกของแม่เหล็กบนโลหะหะวงกลมหมุนไปตัดผ่านเพียโซอิเล็กทริกให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าและนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้นำมาผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อให้ได้พลังงานที่สามารถนำไปช้บนนาฬิกาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FOR WATCHES

By

Mr. Thachapol Silipipat 52010499

Mr. Panupong Lojarus 52010907

Mr. Watcharin Kitwilairak 52011092

Mr. Harit lamprapakul 52011360

Advisors

Dr. Don Isarakorn

Mr. Songmuang Nundrakwang

Academic Year 2012

ABSTRACT

This thesis presents design of miniaturized energy harvester for watches. The objective is to converse kinetic energy from the movement of a human to electrical energy by using piezoelectric and design a prototype. The goal is to make the watches can work without using battery. The project has been conducted as in the following steps. First, to design and create the miniaturized energy harvester for watches. Then optimize the size of piezoelectric that will be used to produce electrical energy. According to the design in this project, magnets were attached to an circular stainless plate and the magnet will push another magnet on piezoelectric result in displacement of the piezoelectric that will induce electric field. The electrical energy were used in order to activate watches.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ดร. ดอน อิศรากร และอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจ แนะนำในด้านการหาซื้ออุปกรณ์ต่างๆ กระตุ้นเตือน รวมถึงคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นายรัชพล

สีลพิพัฒ

นายภาณุพงศ์

โลจรัส

นายวัชรินทร์

กิจวิไลรักษ์

นายหฤษฎ์

เอี่ยมประภากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษาและจัดการโครงการ	4
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	4

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)	5
2.2 ความเค้น (Stress)	8
2.3 เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Lines of Force)	9
2.4 ความแข็งเกร็ง (Stiffness)	10

บทที่ 3 แนวคิดและการออกแบบต้นแบบ	11
3.1 แนวคิด	11
3.2 การออกแบบต้นแบบ	12
3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	12
3.3 โครงสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน	18
3.3.1 แผ่นเพียโซอิเล็กทริก	19

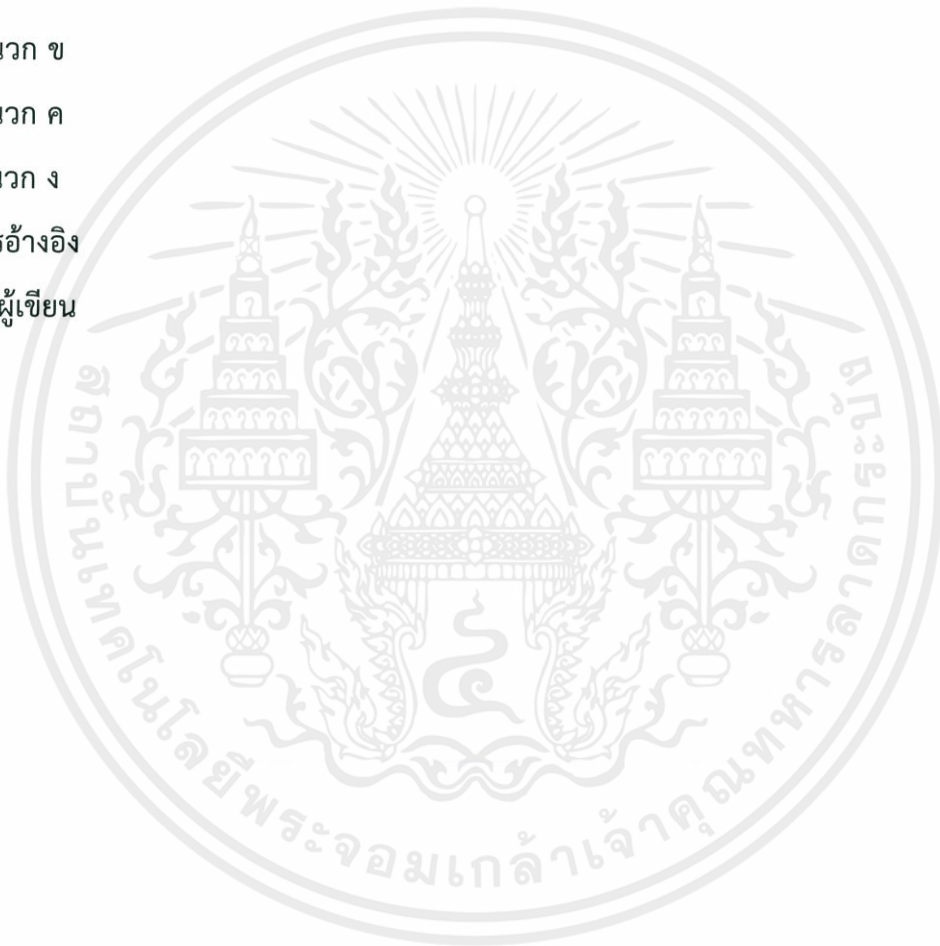
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุผลเบื้องหน้าและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 แผ่นโลหะที่ใช้แทนวงลัดที่ไม่สมดุล	19
3.3.3 กล่องเหล็ก	22
3.4 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน	22
3.4.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)	23
3.4.1.1 ซอทกึ่งไดโอด BAT46	24
3.4.1.2 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor)	24
3.4.2 วงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator)	25
บทที่ 4 การทดลอง และ ผลการทดลอง	27
4.1 การวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	27
4.1.1 วิธีการทดลองของการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	27
4.1.2 รายละเอียดการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	29
4.1.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	30
4.1.3.1 เปลี่ยนแปลงความกว้าง	31
4.1.3.2 เปลี่ยนแปลงความยาว	31
4.1.3.3 เปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับแผ่นอะคริลิก	33
4.1.3.4 เปลี่ยนจำนวนแม่เหล็ก	33
4.1.3.5 เปลี่ยนตำแหน่งของแม่เหล็ก	34
4.1.3.6 เปลี่ยนขั้วแม่เหล็ก	34
4.1.4 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	35
4.2 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า	37
4.2.1 วิธีการทดลองของการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า	38
4.2.2 รายละเอียดการทดลองการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า	38
4.2.3 ผลการทดลองของการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3.1 เปลี่ยนแปลงความยาว	39
4.2.3.2 เปลี่ยนแปลงระยะห่าง	41
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก	50
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	85
ภาคผนวก ง	91
เอกสารอ้างอิง	98
ประวัติผู้เขียน	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	โครงสร้างนาฬิกาแบบควอทซ์	2
1.2	โครงสร้างนาฬิกาแบบอัตโนมัติ	2
2.1	พลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า	5
2.2	พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล	5
2.3	Poling of Piezoelectric ceramics	6
2.4	แผ่นเพียโซอิเล็กทริก	7
2.5	ความเค้นในวัสดุ	8
2.6	เส้นแรงแม่เหล็ก	9
3.1	โครงสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานตามแนวคิด	11
3.2	อุปกรณ์การทดลอง	12
3.3	แผ่นอะคริลิก	13
3.4	แม่เหล็ก	14
3.5	แผ่นอะคริลิกที่ติดแม่เหล็ก	14
3.6	แผ่นโลหะ	14
3.7	แผ่นโลหะที่ติดแม่เหล็ก	14
3.8	ET-Easy168 STAMP	15
3.9	สแต็ปมอเตอร์ ET-MINI SMCC-547	16
3.10	กล่องวิดีโอ JVC รุ่น GZ-MS90E	16
3.11	วงจรที่ใช้ในการทดลอง	17
3.12	โครงสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน	18
3.13	แผ่นเพียโซอิเล็กทริก	19
3.14	วงล้อไม่สมดุล แบบที่ 1	20
3.15	วงล้อไม่สมดุล แบบที่ 2	20
3.16	วงล้อไม่สมดุล แบบที่ 3	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 แผ่นโลหะครึ่งวงกลม	21
3.18 กล่องเหล็ก	22
3.17 นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103	22
3.18 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน	23
3.19 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน, อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและนาฬิกา	23
3.20 ขอทักไดโอด BAT46 (Schottky Diode BAT46)	24
3.21 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor)	24
3.22 ไอซี MAX 663	25
3.23 เข้่วงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator)	25
4.1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Nano Plus Metrology for MEMS	28
4.2 ตัวอย่างกราฟการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus Metrology for MEMS	28
4.3 กราฟเปรียบเทียบความกว้างของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัด	30
4.4 กราฟเปรียบเทียบความกว้างของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS	30
4.5 กราฟเปรียบเทียบความเค้นของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS	31
4.6 กราฟเปรียบเทียบยาวของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัด	31
4.7 กราฟเปรียบเทียบความยาวของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS	32
4.8 กราฟเปรียบเทียบความเค้นของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS	32
4.9 กราฟเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับแผ่นอะคริลิกกับระยะการกระจัด	33
4.10 กราฟเปรียบเทียบจำนวนแม่เหล็กกับระยะการกระจัด	33
4.11 กราฟเปรียบเทียบตำแหน่งแม่เหล็กกับระยะการกระจัด	34
4.12 กราฟเปรียบเทียบขีดเดียวกันแม่เหล็กกับขีดต่างกันเทียบกับระยะการกระจัด	35
4.13 แสดงขนาดของโลหะที่ออกแบบ	36
4.14 แผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เลือกใช้	37
4.15 วิธีการทดลองการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า	38
4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว	40
4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว	41
4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง	42
4.20 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง	43
4.21 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง	44
4.22 นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103	45
4.23 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน, อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและนาฬิกา	46
ก.1 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.3 เซนติเมตร	52
ก.2 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.3 เซนติเมตร	53
ก.3 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร	54
ก.4 การจำลองความเครียดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร	55
ก.5 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร	57
ก.6 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร	57
ก.7 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 1 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร	59
ก.8 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 1 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร	59
ก.9 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 1.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร	61
ก.10 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 1.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกครุ่น T220-A4-203X	19
4.1 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป	35
4.2 คุณสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกครุ่น T220-A4-203X	37
4.3 สรุปผลการทดลองของการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า	44
4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วน	47
ค.1 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2 เซนติเมตร	85
ค.2 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2.5 เซนติเมตร	86
ค.3 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2.7 เซนติเมตร	87
ค.4 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1 มิลลิเมตร	88
ค.5 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร	89
ค.6 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 2 มิลลิเมตร	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและต่อไปในอนาคต ประชากรโลกได้ตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานและการใช้พลังงานอย่างประหยัดและหาวิธีเพื่อที่จะหาพลังงานทดแทนต่างๆมากมาย เพราะปัจจุบันพลังงานจำเป็นต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก

เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานธรรมชาติโดยแนวคิดในการเก็บเกี่ยวเก็บเกี่ยวพลังงานนั้นเกี่ยวกับกระบวนการของการใช้พลังงานรอบตัวซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พลังงานต่ำ โดยงานวิจัยเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวพลังงานกลายเป็นความท้าทายที่ยิ่งใหญ่สำหรับการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยตัวเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการเก็บพลังงานจากการสั่นสะเทือนมีอยู่ 3 วิธี หลักๆดังนี้ ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Charges) เกิดจากการที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงดึงดูดเมื่อวัตถุทั้ง 2 ชั้นมีประจุต่างชนิดกัน แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) เป็นอำนาจแม่เหล็กที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำซึ่งเกิดจากการตัดผ่านหรือการสั่นของตัวนำในสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากนั้นจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำนั้นเช่นกัน และ เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เพียโซอิเล็กทริกเป็นเซรามิกประเภทหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเพราะมีประสิทธิภาพที่สามารถแปลงความเครียดเชิงกลที่ให้พลังงานไฟฟ้าได้ไม่มีสิ้นสุด และใช้โครงสร้างที่เรียบง่าย ในทางกลับกันเมื่อเพียโซอิเล็กทริก ได้รับกระแสไฟฟ้าก็สามารถกำเนิดพลังงานกลได้เช่นกัน [1]

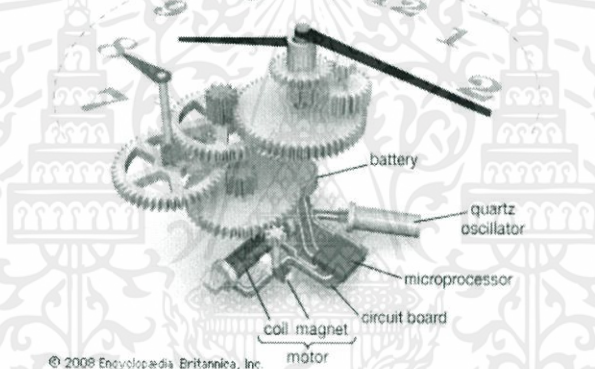
ในทุกๆวันมนุษย์มีการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อที่จะทำกิจกรรมต่างๆมากมาย ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อจะนำพลังงานที่ได้มาใช้ประโยชน์ต่างๆ โดยงานวิจัยนี้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) กล่าวคือเมื่อได้รับแรงทางกล (Mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เรียกว่า ปรากฏเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect) ซึ่งใช้การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการแกว่งของโลหะวงกลมที่ไม่สมดุลเพื่อให้เกิดอิสระในการหมุนมากขึ้นและใช้การผลึกของแม่เหล็กไปตัดผ่านกระตุ้นให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เกิดพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บในหน่วยเก็บพลังงานต่อไป การวิจัยครั้งนี้จะทำให้กำเนิดเทคโนโลยีใหม่ในเรื่องของการกำเนิดพลังงานจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากนัก อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้เป็นเหมือนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งเป็นพลังงานกล เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ ซึ่งแขนถือเป็นอวัยวะที่เคลื่อนไหวบ่อยมากในร่างกาย ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาว่าจะนำสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้ไปติดกับแขนของมนุษย์ เนื่องจากอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้มีส่วนกำเนิด

พลังงานที่อาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก ซึ่งเมื่อเกิดการกระจัดที่มากและบ่อยครั้งก็จะให้พลังงานไฟฟ้าออกมามาก เนื่องจากแขนของมนุษย์นั้นมีเคลื่อนไหวบ่อยและปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกนั้นเหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการที่จะสร้างอุปกรณ์เก็บพลังงานสำหรับนาฬิกาขึ้น [2]

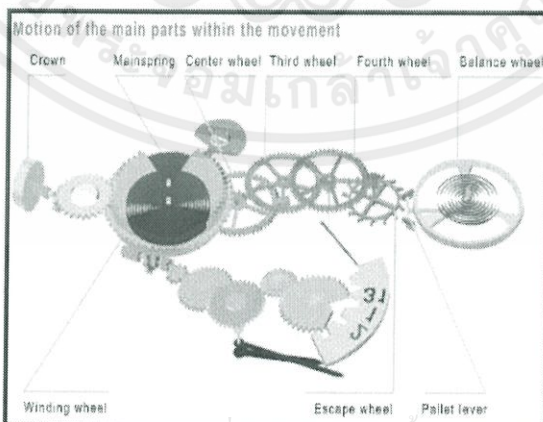
ในปัจจุบันนาฬิกามีหลายระบบและได้มีการใช้เทคโนโลยีเข้ามาพัฒนาให้เกิดนาฬิกากระบบใหม่ๆอยู่เสมอ แต่นาฬิกาที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลักๆ 2 ระบบดังนี้

ระบบควอทซ์ซึ่งแสดงโครงสร้างในรูปที่ 1 เป็นระบบที่ใช้แบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนนาฬิกา หากถ่านหมดนาฬิกาก็จะหยุดเดินในทันทีมีกลไกไม่ซับซ้อนทำให้ราคาและค่าบำรุงรักษาต่ำ [3]

ระบบอัตโนมัติซึ่งแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2 เป็นระบบที่ไม่ต้องใส่แบตเตอรี่ แต่ใช้วัสดุที่ทำงานคล้ายการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา เมื่อร่างกายของผู้ใส่เคลื่อนไหวจะทำให้วัสดุดังกล่าวเกิดการแกว่งทำให้มีพลังงานเกิดขึ้นและนำไปเก็บสะสมไว้ [4]



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างนาฬิกาแบบควอทซ์ [3]



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างนาฬิกาแบบอัตโนมัติ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเป็นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยจึงเกิดความคิดที่จะทำนาฬิกากระบบใหม่โดยนำข้อดีของระบบควอทซ์ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูงมารวมกับข้อดีของระบบอัตโนมัติซึ่งไม่ต้องใช้แบตเตอรี่มารวมเข้าไว้ด้วยกันโดยเก็บพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ด้วยการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการแกว่งแบบลูกตุ้มนาฬิกาในระบบอัตโนมัติมากระตุ้นให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดพลังงานแล้วนำไปเก็บในหน่วยเก็บพลังงาน การวิจัยครั้งนี้จะทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ในเรื่องของการเก็บเกี่ยวพลังงานจากธรรมชาติในนาฬิกา ซึ่งสามารถใช้ได้ไม่มีที่สิ้นสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในปฏิญญาพันธฉบับนี้เป็นการศึกษา วิเคราะห์โครงสร้าง ออกแบบ และนำพลังงานที่ผลิตได้ไปใช้กับนาฬิกา เพื่อให้นาฬิกานั้นสามารถทำงานได้โดยที่พึ่งพาตนเองไม่ใช้ถ่านและมีความเที่ยงตรงในการบอกเวลา โดยใช้ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดพลังงาน เลือกอุปกรณ์ที่มีขนาดเหมาะสมกับนาฬิกาโดยคำนึงถึงความแข็งแรงคุ้มค่างบประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุด โดยอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกาที่นำเสนอในปฏิญญาพันธฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็กสำหรับนาฬิกา
2. พัฒนาระบบการทำงานของนาฬิกา
3. สร้างอุปกรณ์ที่สามารถเก็บพลังงานจากธรรมชาติ
4. สร้างแนวคิดใหม่ๆ เกี่ยวกับการเก็บพลังงาน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของนาฬิกา พบว่านาฬิกากระบบอัตโนมัตินั้นสามารถสร้างพลังงานเพื่อทำงานนาฬิกาได้ด้วยตนเอง แต่มีความเที่ยงตรงน้อยกว่านาฬิกากระบบควอทซ์ที่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกหรือถ่าน เพื่อให้นาฬิกาสามารถทำงานได้ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อด้อยดังที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา เพื่อนำไปใช้กับนาฬิกากระบบควอทซ์ให้สามารถทำงานได้โดยพึ่งพาตนเอง ซึ่งคือการแก้ปัญหาข้างต้น เพื่อให้นาฬิกาที่ทำงานได้ด้วยตนเอง มีความเที่ยงตรงสูงขึ้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกาจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ โครงสร้างตัวอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน และวงจรเก็บพลังงาน โดยในปฏิญญาพันธนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกา เพื่อนำพลังงานกลที่สูญเสียจากการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์กับนาฬิกา

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

1.5 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

การสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนของนาฬิกานั้น จำเป็นต้องศึกษาก่อนว่าเพียโซอิเล็กทริกขนาดใดที่สามารถให้พลังงานที่สามารถขับเคลื่อนนาฬิกาได้โดยต้องคำนึงถึงขนาดที่จำกัด ด้วยเพราะจะนำมาใช้กับนาฬิกา โดยเราใช้วิธีการทดลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสม เมื่อได้เพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมแล้วเราจึงนำมาออกแบบตัวกำเนิดพลังงานโดยสร้างต้นแบบของโรเตอร์นาฬิกาขึ้นมาเพื่อให้ใกล้เคียงกับนาฬิกามากที่สุดในการกำเนิดพลังงานและใช้การผลึกของแม่เหล็กในการทำให้เพียโซอิเล็กทริกเคลื่อนที่และทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นเมื่อได้พลังงานไฟฟ้าออกมาก็นำไปเข้าวงจรเรียงกระแสเพื่อให้ได้พลังงานที่สามารถมาขับเคลื่อนนาฬิกาได้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น จากที่ได้ศึกษามาแล้วพบว่าปัญหานาฬิกา กับสนามแม่เหล็กโดยสนามแม่เหล็กอาจจะทำให้นาฬิกาเดินไม่ตรงได้แต่พบว่าปัจจุบันสามารถทำการป้องกันผลของสนามแม่เหล็กได้ การออกแบบตัวกำเนิดพลังงานจะอธิบายรายละเอียดในบทต่อไป

1.6 รายละเอียดของปฏิญญาพันธ

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญญาพันธฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความจำเป็นมา หลักการใหม่ วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขต ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญญาพันธแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน ปรัชญาการเพียโซอิเล็กทริก เส้นแรงแม่เหล็ก ความแข็งแรงของวัสดุ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอการประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน วัสดุที่เลือกมาเป็นโครงสร้าง วงจรเก็บพลังงานและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกใช้

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการวิเคราะห์และทดสอบหาโครงสร้างต่างๆของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน ตลอดจนถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนของนาฬิกา

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

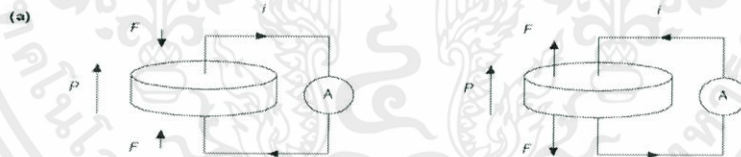
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวในบทที่ 1 แล้วก่อนว่า ก่อนที่จะมีการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน จำเป็นต้องศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานโดยมีดังต่อไปนี้

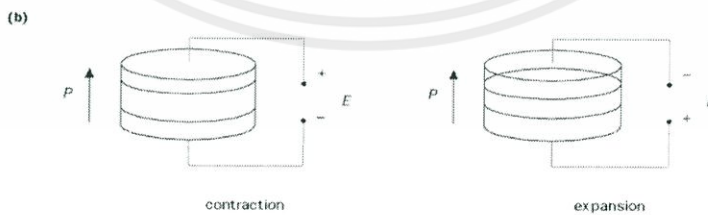
โดยในขั้นแรก ต้องทราบถึงทฤษฎีของปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกก่อน ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (Mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ดังรูป 2.1 ที่เรียกว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ดังรูป 2.2 ปรากฏการณ์อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (Inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมา ระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

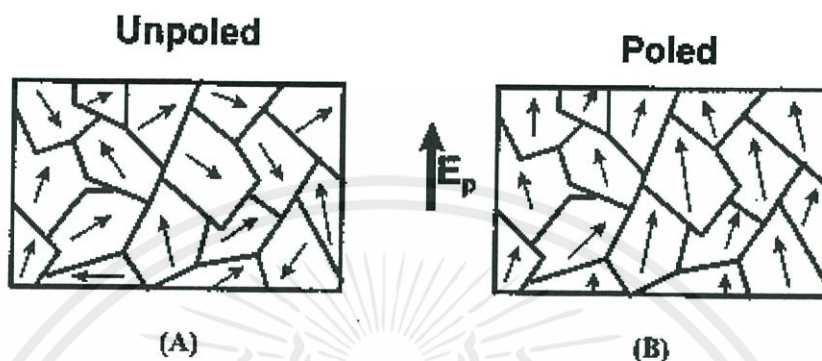


รูปที่ 2.1 พลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า [5]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.2 พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล [5] นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียโซอิเล็กทริกนั้นจะมีการ Polarization ตามธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจาก Ferroelectric สารเพียโซอิเล็กทริกนั้นหลังจากการตัดให้เป็นชิ้นใหม่ๆ Dipoles ที่มีอยู่ในส่วน (Grains) ต่างๆ นั้น ไม่ได้เรียงไปในแนวทางเดียวกันดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการ Poling เพื่อให้ Dipoles ต่างๆ เรียงไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งหากปราศจากกระบวนการ Poling แล้ว สารเพียโซอิเล็กทริก จะไม่แสดงสมบัติพิเศษใดๆ เลยการ Poling จะกระทำที่อุณหภูมิคูรี (Curie Temperature, T_c)



รูปที่ 2.3 Poling of Piezoelectric ceramics [5]

สมการที่อธิบายเกี่ยวกับผลของปรากฏการณ์ Piezoelectric เขียนได้ดังนี้

$$D = dE + \epsilon^T E \quad (2.1)$$

$$S = s^E T + dE \quad (2.2)$$

- เมื่อ
- D = ระยะประจุเคลื่อนที่ (Electric Displacement)
 - T = ความเค้น (Stress)
 - E = สนามไฟฟ้า (Electric Field)
 - S = ความเครียด (Strain)
 - d = ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Coefficient)
 - ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant)
 - s = ค่าของวัสดุที่ใช้ (Material Compliance)

ค่าของเพียโซอิเล็กทริกจะเกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงเค้น อาจเขียนในรูปของแรงดันหรือค่า g มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อนิวตันต่อตารางเมตร ดังสมการ

$$g = \frac{\text{Open Circuit Electric Field}}{\text{Applied Mechanical Stress}} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า g เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ d ดังนี้

$$g = \frac{d}{\epsilon} = \frac{d}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (2.4)$$

เมื่อ ϵ = ค่าความซึมซาบ (Permittivity)

ϵ_r = ค่าคงที่ของสารไดอิเล็กตริก (Relative Permittivity)

ϵ_0 = ค่าความซึมซาบสมบูรณ์ (Permittivity in free space $\approx 8.854 \times 10^{-12}$ F/m)

ส่วนค่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือในทางกลับกันของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Coupling Factor) สามารถหาได้ดังนี้

$$K = \sqrt{\frac{\text{Energy Output}}{\text{Total Mechanical Energy Input}}} \quad (2.5)$$

ซึ่งค่า K นั้น จะเป็นผลปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริกทั้ง ผลทางตรง (Direct Effect) และผลทางอ้อม (Converse Effect) ทั้งสองกรณี และค่าของ k นั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าเท่านั้น วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 2.4 มีทั้งที่พบในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ โดยวัสดุที่พบในธรรมชาติได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่ทัวร์มาลีน ส่วนวัสดุสังเคราะห์ได้แก่ เลดเซอร์โคเนียมไททาเนต (Lead zirconia titanate) ซึ่งนิยมเรียกว่า PZT เลดไททาเนต เซอร์โคเนต (Lead titanate zirconate) และแบเรียมไททาเนต (Barium titanate)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ประโยชน์จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีหลายอย่างด้วยกัน ขึ้นกับปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่มีการบั่นแรงดันให้วัสดุทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือเกิดแรงกล สามารถนำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ในอุปกรณ์อัลตราโซนิก (Ultrasonic) ทางกายภาพบำบัด ลำโพง และนำมาใช้เป็นแอกชูเอเตอร์ (Actuator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบ ที่สำคัญของเครื่องพิมพ์ 3D เครื่องฉีดพลาสติกในกล่องถ่ายรูปรูป วาล์วไฮดรอลิก (hydraulic valve) เป็นต้น [5]



รูปที่ 2.4 แผ่นเพียโซอิเล็กทริก [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ในการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานได้ทำการทดลองหาระยะการกระตุ้นที่ทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเคลื่อนที่แล้วนำมาเทียบกับความเค้น โดยความเค้นนั้นมีความสัมพันธ์กับระยะ

การกระจัดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกนั้นจ่ายแรงดันได้
 มากน้อยเพียงใด โดยมีทฤษฎีความเค้นดังต่อไปนี้

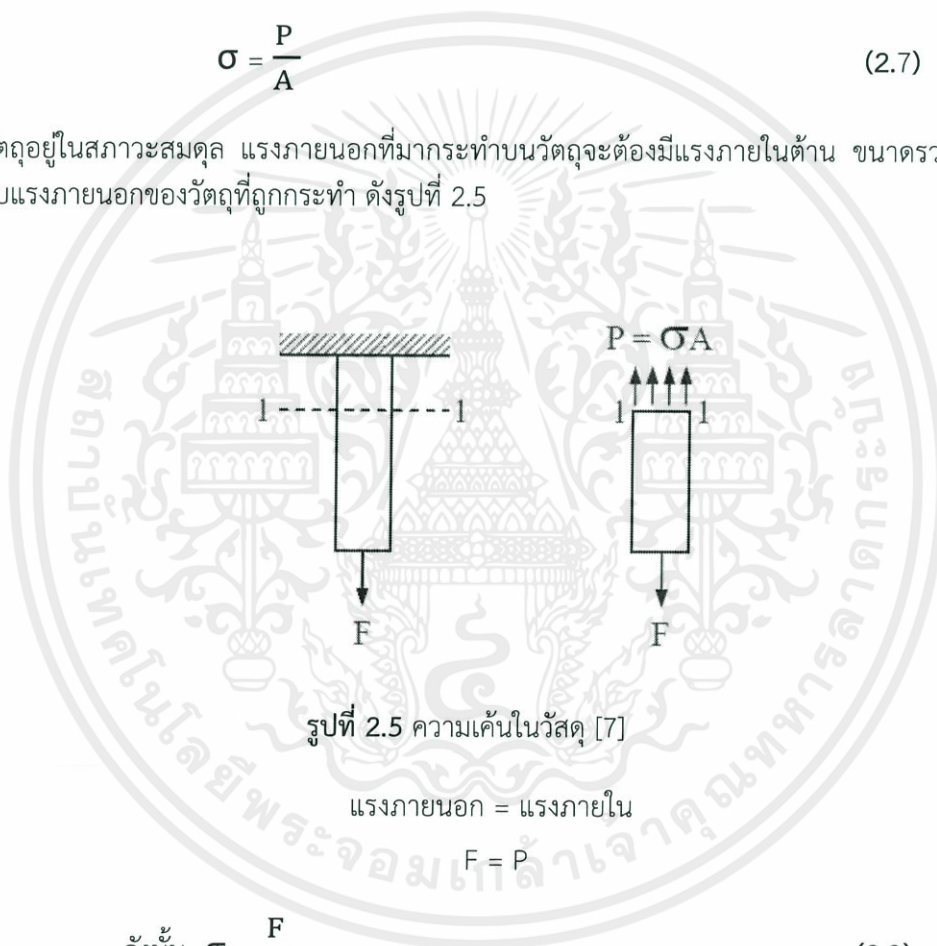
2.2 ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือ แรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น หรือ คือแรง
 ภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใช้สัญลักษณ์ว่า σ (sigma) โดยวิธี take limit จะได้ว่า

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2.6)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.7)$$

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล แรงภายนอกที่มากระทำบนวัตถุจะต้องมีแรงภายในต้าน ขนาดรวมแล้ว
 เท่ากับแรงภายนอกของวัตถุที่ถูกกระทำ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความเค้นในวัสดุ [7]

แรงภายนอก = แรงภายใน

$$F = P$$

$$\text{ดังนั้น } \sigma = \frac{F}{A} \quad (2.8)$$

กำหนดให้ σ คือ $\frac{F}{A}$ เป็นแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งเรียกว่า ความเค้น (stress)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุ

F คือ แรงภายนอกที่กระทำกับวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ในการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนั้น เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกนั้นถ้าได้รับแรง
 โดยตรงนั้นจะทำให้มีอายุการใช้งานที่น้อย ผู้วิจัยจึงใช้แรงที่เกิดจากแรงแม่เหล็กซึ่งเป็นแรงทางอ้อม

โดยใช้อุปกรณ์ติดกับแม่เหล็กจึงต้องคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นจากแรงแม่เหล็ก จึงต้องทราบเกี่ยวกับทฤษฎีตำแหน่งเส้นแม่เหล็กโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [7]

2.3 เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Lines of Force)

สนามแม่เหล็กมีลักษณะประกอบด้วยเส้นแผ่กระจายเต็มสนามแม่เหล็ก และกำหนดเรียกเส้นต่างๆเหล่านี้ว่า เส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.6 เมื่อเข็มทิศอยู่ในตำแหน่งมักจะวางตัวไปตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามนั้น เราจึงควรใช้เข็มทิศช่วยในการหาเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กได้ โดยวางเข็มทิศลงในสนามนั้น ใช้ดินสอดูดตำแหน่งของปลายขั้ว N-S ของเข็มทิศไว้แล้วค่อยๆเลื่อนเข็มทิศไปเรื่อยๆ ทิศของเส้นแรง คือ ทิศที่ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ไป บริเวณที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าวนี้คือ บริเวณสนามแม่เหล็กนั่นเอง ถ้าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กแรงมาก เช่น บริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก เราสามารถใช้ผงตะไบเหล็กโรยเพื่อหาเส้นแรงแม่เหล็กแทนที่จะใช้เข็มทิศเส้นแรงแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กหรือตัวกลางที่กระทำตัวคล้ายกับกับเป็นแท่งแม่เหล็กมีลักษณะดังนี้

1. ภายนอกแท่งแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กมีทิศออกจากขั้วเหนือพุ่งเข้าสู่ขั้วใต้
2. ภายนอกแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางจากขั้วใต้ผ่านภายในแท่งไปยังขั้วเหนือ



รูปที่ 2.6 เส้นแรงแม่เหล็ก [8]

คุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก

1. มีทิศออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้
2. ถ้ามีเส้นแรงแม่เหล็กปริมาณมาก เส้นแรงแม่เหล็กจะรวมกัน หรือต้านกันออกไปทำให้เกิดจุดสะเทิน

เป็นจุดที่มีค่าความเข้มสนาม แม่เหล็กเป็นศูนย์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนั้นไม่ได้คำนึงถึงแค่ให้พลังงานได้มากที่สุดแต่ต้องคำนึงถึงเรื่องความแข็งแรงของวัสดุด้วยเพื่อยืดทำอายุการใช้งานของวัสดุให้นานขึ้น จึงควรทราบทฤษฎีของความแข็งแรง ดังต่อไปนี้

2.4 ความแข็งแรง (Stiffness)

ความแข็งแรงของวัสดุวัดได้จากความสามารถในการต้านทานการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ ซึ่งหาค่าได้เป็นอัตราส่วนของแรงเค้นต่อความเครียด กล่าวคือวัสดุที่ต้องใช้แรงเค้นมากกว่าเพื่อให้ได้ความเครียดตามที่กำหนดถือว่าเป็น วัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่า

วัสดุขณะอยู่ภายใต้แรงเค้นปกติในช่วงขีดจำกัดการยืดแบบสัดส่วน (proportion limit) อัตราส่วนของแรงเค้นต่อความเครียดเรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ E โมดูลัสของความยืดหยุ่นจะอิงกับค่าความแข็งแรงของวัสดุซึ่งแปรไปตามแรงเค้นสามประเภท คือการดึงการอัดและการเฉือน ทำให้มีโมดูลัสของความยืดหยุ่นสามแบบ คือโมดูลัสการดึง (modulus in tension) โมดูลัสการอัด (modulus in compression) และโมดูลัสการเฉือน (modulus in shear) ภายใต้แรงเค้นดึงความแข็งแรงของวัสดุมักเรียกว่ายังโมดูลัส (Young's modulus) ยังโมดูลัสเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นและความเครียดในช่วงขีดจำกัดการยืดแบบสัดส่วน ดังสมการ

$$E = \sigma / \epsilon \quad (2.9)$$

ซึ่งในการวิจัยนี้ได้มีการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานมากมาย ซึ่งปัจจัยหลักที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบคือความแข็งแรงของวัสดุหรือวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

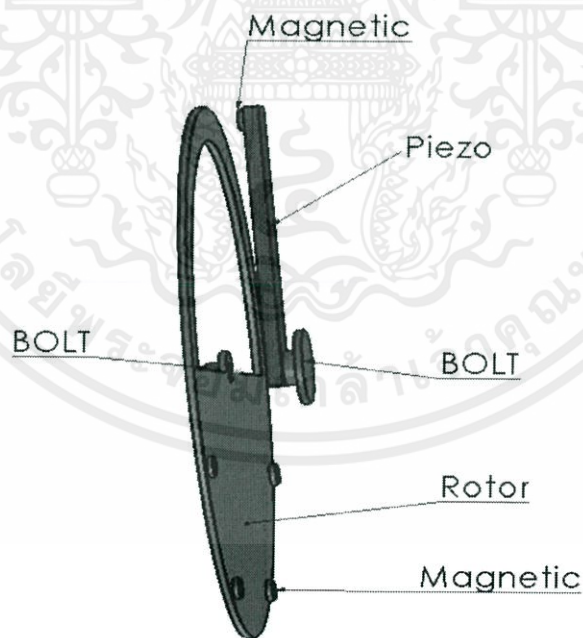
บทที่ 3

แนวคิดและการออกแบบต้นแบบ

3.1 แนวคิด

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นในบทนำเกี่ยวกับระบบการทำงานของนาฬิกาที่ใช้ในปัจจุบัน โดยที่ระบบแบตเตอรี่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อทำให้นาฬิกาทำงานได้ และระบบอัตโนมัติใช้พลังงานกลในการขับเคลื่อนเพื่อทำให้นาฬิกาทำงานได้ดังที่กล่าวในบทนำ

โดยจะอาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกในการกำเนิดพลังงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดความเค้นกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เพื่อให้เพียโซอิเล็กทริกจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมา ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โรเตอร์ที่ใช้ในระบบนาฬิกาอัตโนมัติที่สามารถหมุนได้ตามการเคลื่อนที่ของมนุษย์ ติดแม่เหล็กบนโรเตอร์และบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยวางโรเตอร์ห่างจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกประมาณหนึ่งดังรูปที่ 3.1 เมื่อโรเตอร์หมุนจะทำให้แม่เหล็กทั้งฝั่งโรเตอร์และฝั่งเพียโซอิเล็กทริกตัดผ่านกันเกิดระยะกระจัดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกและเกิดความเค้นบนตัวเพียโซอิเล็กทริก ทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมา จึงเป็นแนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็กสำหรับนาฬิกา



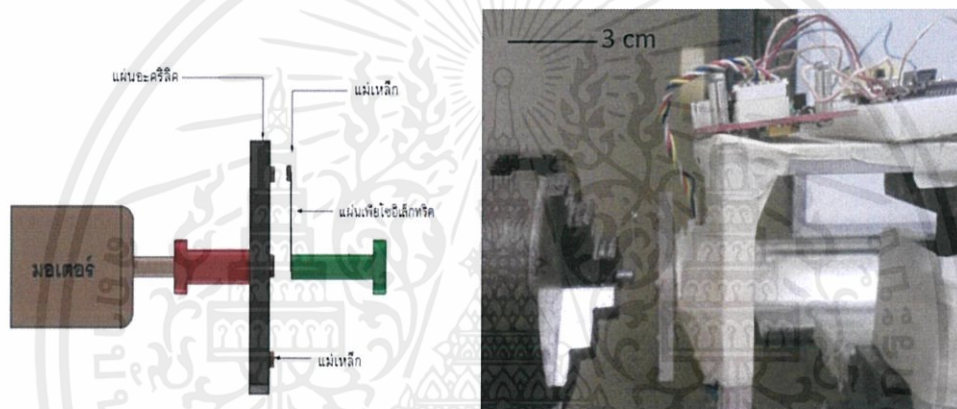
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบต้นแบบ

ในการออกแบบต้นแบบผู้วิจัย ได้สร้างชุดทดลองขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์หาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการออกแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองนั้น เริ่มต้นจากการใช้สแตมป์มอเตอร์ติดกับแผ่นอะคริลิกพลาสติกแทนโลหะวงกลมที่ไม่สมดุล เพื่อง่ายต่อการศึกษาและการควบคุมเพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการจึงเลือกสแตมป์มอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วและมุมในการหมุนได้ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยติดแม่เหล็กทรงกระบอก ขนาด 2x1 มิลลิเมตร ไว้บนแผ่นอะคริลิกพลาสติก 4 ตัว โดยแต่ละตัวมีระยะห่างกัน 90° และให้อีกด้านเป็นแผ่นโลหะสแตนเลสสตีลแทนเพียโซอิเล็กทริก โดยติดแม่เหล็กไว้ที่ปลายของแผ่นโลหะ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การทดลอง

โดยอุปกรณ์การทดลองที่ใช้วิเคราะห์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วางแม่เหล็กเป็นขั้วเดียวกันทั้งหมด นอกจากการทดลองเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิก
2. ระยะห่างระหว่างอะคริลิกกับแผ่นโลหะเป็น 2 มิลลิเมตร (นอกจากการทดลองเปลี่ยนแปลงระยะห่างอะคริลิกกับโลหะ) เพราะถ้าวางใกล้กันมากกว่านี้แม่เหล็กจะดูดกัน ถึงแม้ว่าเป็นขั้วเดียวกันก็ตาม
3. ติดแม่เหล็กไว้ที่ปลายของโลหะ นอกจากการทดลองเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ โดยในการวิเคราะห์ต้นแบบ จะใช้โลหะสแตนเลสสตีลเพียงอย่างเดียวในการวิเคราะห์ เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีราคาแพง และในการวิเคราะห์ข้างต้นยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก

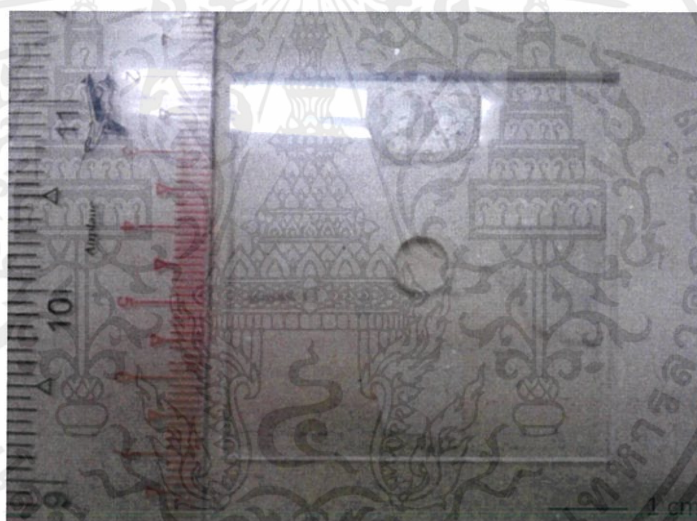
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นประกอบด้วยส่วนหลักๆดังนี้

- แผ่นอะคริลิก
- แม่เหล็ก
- แผ่นโลหะ
- ไมโครคอนโทรลเลอร์
- สเต็ปมอเตอร์
- กล้องวิดีโอ

3.2.1.1 แผ่นอะคริลิก (Acrylic sheet)

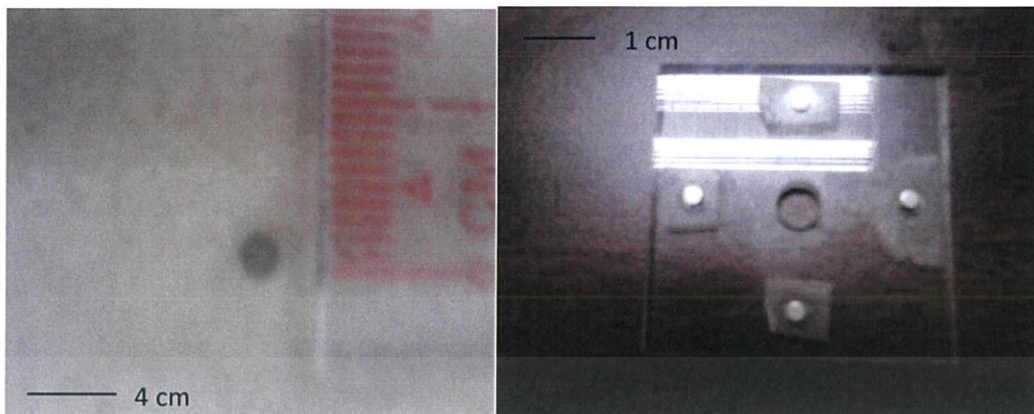
อย่างที่กล่าวไปข้างต้นว่า ใช้แผ่นอะคริลิกขนาด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรหนา 0.3 เซนติเมตร แทนโลหะวงกลมที่ไม่สมดุลในการทดลองข้างต้น เพื่อสร้างชุดทดลองใช้วิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเก็บพลังงานนี้ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผ่นอะคริลิก

3.2.1.2 แม่เหล็ก (Magnet)

ใช้แม่เหล็กทรงกระบอก ขนาด 2x1 มิลลิเมตร ดังรูป 3.4 เพื่อนำไปติดแผ่นอะคริลิกโดยติดแม่เหล็กทรงกระบอก ขนาด 2x1 มิลลิเมตร ไว้บนแผ่นอะคริลิกพลาสติก 4 ตัว โดยแต่ละตัวมีระยะห่างกัน 90° ให้มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5 โดยใช้แม่เหล็กเพราะไม่ต้องการที่จะให้เกิดแรงกระทำแบบสัมผัสกับตัวเพียโซอิเล็กทริก เพราะเพียโซอิเล็กทริกเป็นเซรามิกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความแข็งแรงน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการใช้แรงสัมผัสกับตัวเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งแม่เหล็กเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

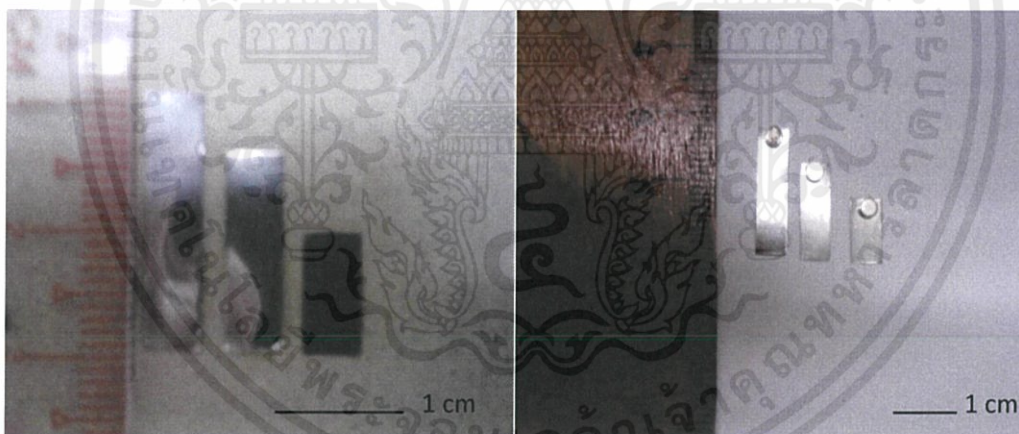


รูปที่ 3.4 แม่เหล็ก

รูปที่ 3.5 แผ่นอะคริลิกที่ติดแม่เหล็ก

3.2.1.3 แผ่นโลหะ (Stainless steel)

ใช้โลหะสแตนเลสสตีลโดยตัดให้มีความยาว และความกว้างที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับารทดลอง ดังรูปที่ 3.6 และนำแม่เหล็กมาติดที่ปลายของแผ่นโลหะดังรูปที่ 3.7



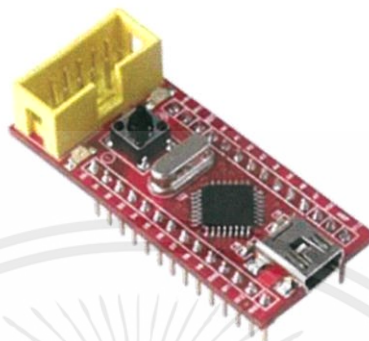
รูปที่ 3.6 แผ่นโลหะ

รูปที่ 3.7 แผ่นโลหะที่ติดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทดลองเพื่อถ่ายทอดการศึกษาและการควบคุมความเร็วและการหมุนของมอเตอร์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ ผู้วิจัยเลือกใช้ ET-Easy168 STAMP ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ET-Easy168 STAMP [10]

โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้มีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATMEGA168 ของ ATMEL ใช้งาน RUN ความถี่ 16.00 MHz
2. หน่วยความจำ FLASH 16 KBYTE, SRAM 1 KBYTE, EEPROM 512 BYTE
3. มี GPIO ใช้งาน 22 BIT เป็น DIGITAL จำนวน 14 BIT, และ A TO D ขนาด 10 BIT จำนวน 8 BIT
4. POWER SUPPLY ต่อใช้งาน 5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับ 5VDC จาก PORT USB และจากแหล่งจ่าย 5VDC ภายนอก พร้อม LED POWER แสดงสถานะ
5. มีวงจร EXTERNAL RESET แบบ RC RESET และ SW RESET
6. ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน PIN HEADER ระยะห่าง 2.54 mm. ขนาด 28 PIN ระยะห่าง 600 MIL ง่ายต่อการ นำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และต่อทดลองบน PROJECT BOARD
- 7.ขนาดบอร์ด 2 X 5 CM. ขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับไอซี 28 PIN
- 8.ขั้วต่อ USB MINI และไอซี USB BRIGE ของ FDTI เบอร์ FT232R บนบอร์ด
- 9.ขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10 PIN สำหรับต่อใช้งาน DOWNLOAD ให้กับ MCU ในบอร์ด ในกรณี ไม่ ต้องการ DOWNLOAD ผ่านทาง PORT USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor)

ในการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ ET-MINI SMCC-547 ดังรูปที่ 3.9 เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง เพราะสเต็ปมอเตอร์สามารถกำหนดองศาในการหมุนได้อย่างแน่นอน

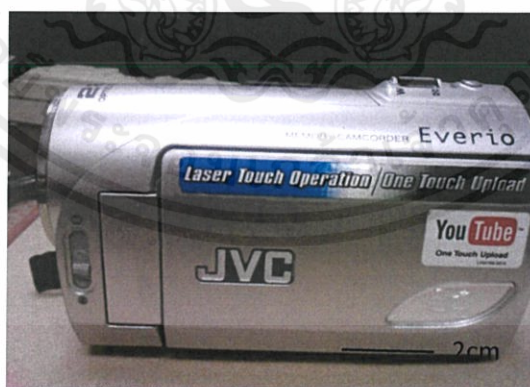


รูปที่ 3.9 สเต็ปมอเตอร์ ET-MINI SMCC-547 [11]

เป็นชุด ต่อทดลองวงจรของ STEPPING MOTOR โดยมีวงจรขับใช้ TR BC547 4 ตัว พร้อม LED แสดงสถานะการทำงาน และตัว STEPPING MOTOR ขนาดเล็กแบบ 4 ขด พร้อมเชื่อมต่อแสดงทิศทางการหมุน ขั้วต่อ 6 PIN ตัวและตัวเมีย

3.2.1.6 กล้องวิดีโอ (Camcorder)

ในการทดลองเพื่อหาระยะการกระจัดจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการวัดระยะการกระจัด ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้กล้องวิดีโอยี่ห้อ JVC รุ่น GZ-MS90E ดังรูปที่ 3.10 โดยใช้ในการอัดภาพในโหมดธรรมดา ซึ่งมีความละเอียด 48 กิโลเฮิร์ต 128 กิโลบิตต่อวินาที

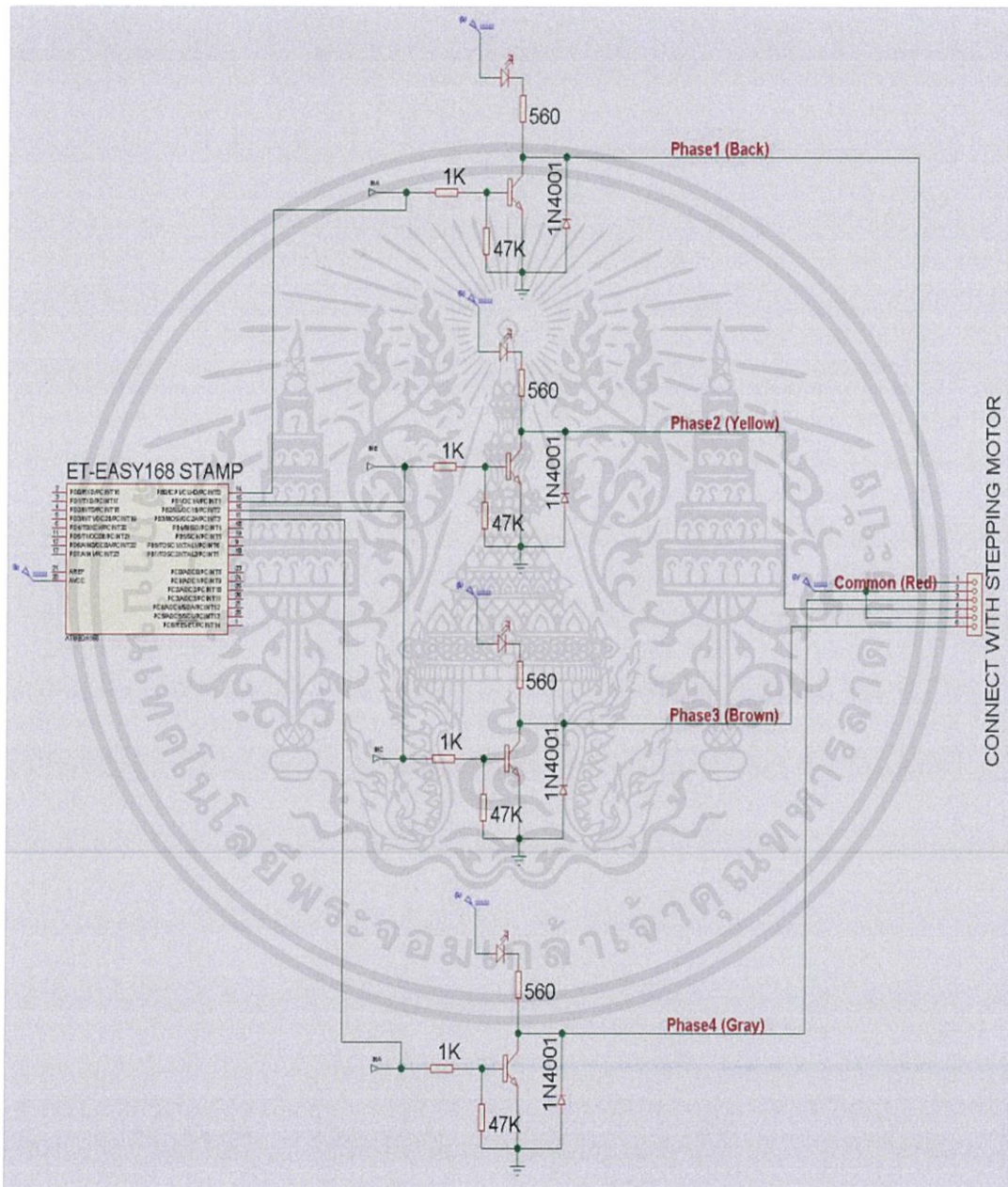


รูปที่ 3.10 กล้องวิดีโอ JVC รุ่น GZ-MS90E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.7 วงจรการที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนั้นใช้การต่อวงจรดังรูปที่ 3.11 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งควบคุมสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 4 เฟส เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนได้ตามต้องการ



รูปที่ 3.11 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

หลังจากการทดลองวิเคราะห์หาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแล้วผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างสำหรับอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน โดยวิเคราะห์จากหลายๆปัจจัยดังนี้ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะ วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม วิเคราะห์จำนวนของแม่เหล็กบนโลหะวงกลม ตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ และวิเคราะห์หาขั้วแม่เหล็กที่เหมาะสม และทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งมีดังนี้ วิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) กำลังไฟฟ้า (Power) และค่าโหลดที่เหมาะสมที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Optimal load) ซึ่งสามารถออกแบบโครงสร้างได้ดังนี้ โดยโครงสร้างที่ได้ประกอบด้วยกล่องเหล็กเพื่อป้องกันการรบกวนของสนามแม่เหล็กเพราะในการออกแบบผู้วิจัยใช้แม่เหล็กในการสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน ส่วนด้านในใช้วงล้อที่ไม่สมดุลในการกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบครึ่งวงกลม และวางระยะห่างระหว่างวงล้อที่ไม่สมดุลกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ห่างกัน 1.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

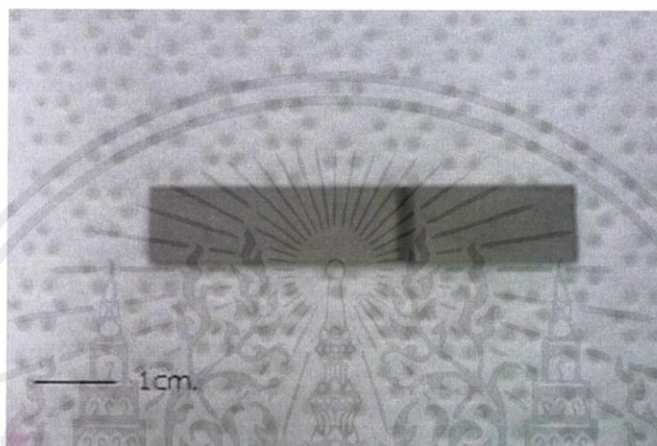
โดยโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนสำหรับนาฬิกาที่ออกแบบมีส่วนประกอบที่สำคัญหลักๆ 3 ส่วน ดังนี้

- แผ่นเพียโซอิเล็กทริก
- แผ่นโลหะที่ใช้แทนวงล้อที่ไม่สมดุล
- กล่องเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 แผ่นเพียโซอิเล็กทริก

ในการสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้ ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-A4-203X สั่งซื้อจากบริษัท PIEZO SYSTEMS, INC. ซึ่งเพียโซอิเล็กทริกนี้มีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.1 และมีขนาดกว้าง 0.64 เซนติเมตร ยาว 3.18 เซนติเมตร หนา 0.051 เซนติเมตร ตามรูปที่ 3.13 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมตามที่ออกแบบไว้ และมีจำหน่ายจริงตามท้องตลาด ซึ่งในการออกแบบวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงว่าวัสดุนั้นๆ มีขายจริงตามท้องตลาด



รูปที่ 3.13 แผ่นเพียโซอิเล็กทริก

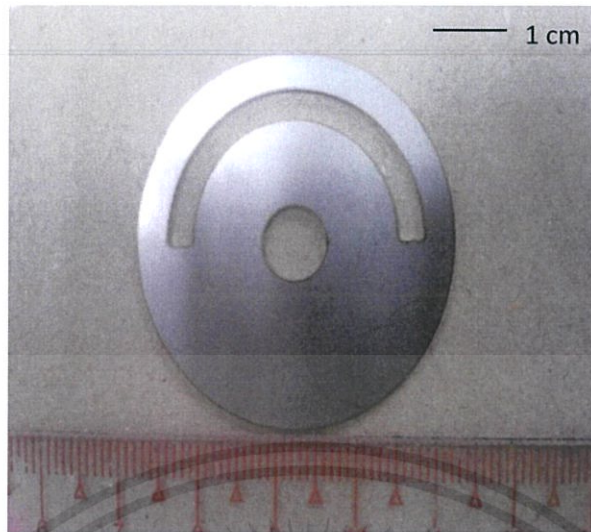
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-A4-203X

Piezoelectric	Deflection (mm)	Voltage (V)	Current (μ A/Hz)	Power (mW)
T220-A4-203X	± 0.38	16	3	1.9

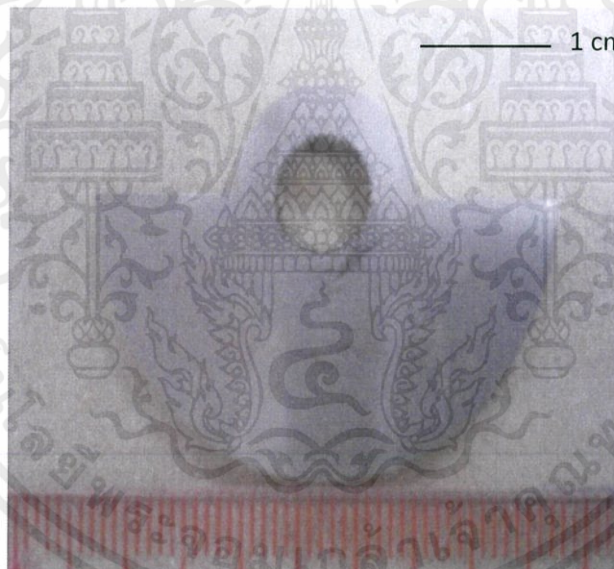
3.3.2 แผ่นโลหะที่ใช้แทนวงล้อที่ไม่สมดุล

ในการสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้ อย่างที่กล่าวมาในบทนำต้องสร้างวงล้อไม่สมดุลขึ้นมา โดยผู้วิจัยได้จึงได้สร้างวงล้อไม่สมดุลในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมาดังรูปที่ 3.14 3.16 โดยผู้วิจัยพบว่าวงล้อที่ไม่สมดุลในรูปแบบที่ 2 มีความคล่องตัวมากที่สุด จึงนำมาสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานโดยวงล้อที่ไม่สมดุลแบบที่ 2 นั้น ทำจากสแตนเลสสตีลโดยมีขนาดรัศมี 2 เซนติเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร โดยติดแม่เหล็กทรงกระบอก ขนาด 2x1 มิลลิเมตร ไว้จำนวน 5 ตัว ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

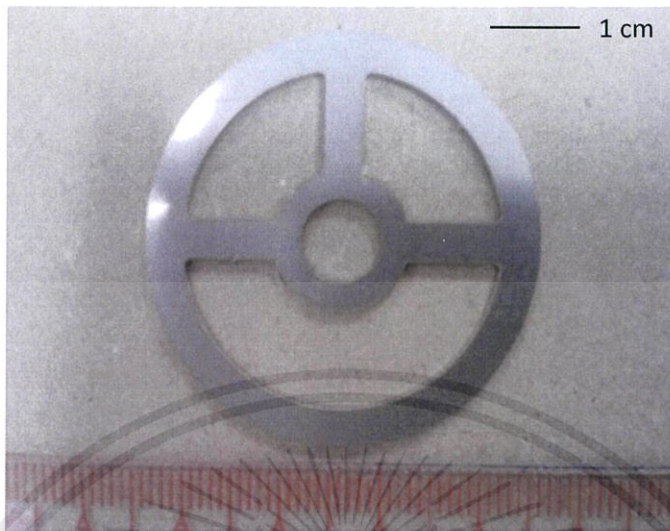


รูปที่ 3.14 วงล้อไม่สมดุล แบบที่ 1



รูปที่ 3.15 วงล้อไม่สมดุล แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงล้อไม้สมดุล แบบที่ 3

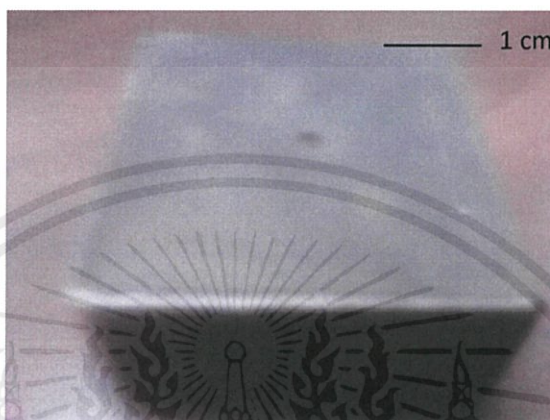


รูปที่ 3.17 แผ่นโลหะครึ่งวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กล่องเหล็ก

เป็นกล่องที่ทำจากเหล็ก ขนาดกว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 4.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.18 เหตุผลที่เลือกใช้เหล็กคือเพื่อที่จะป้องกันผลที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก



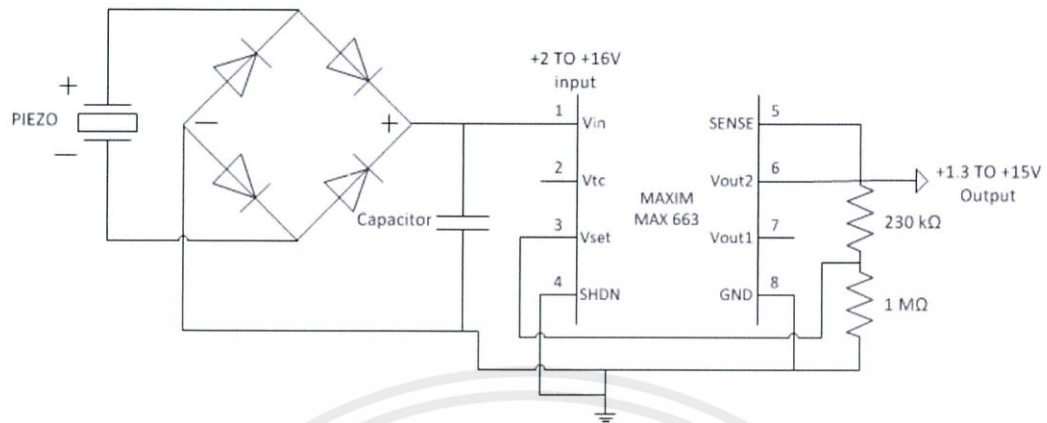
รูปที่ 3.18 กล่องเหล็ก

3.4 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน

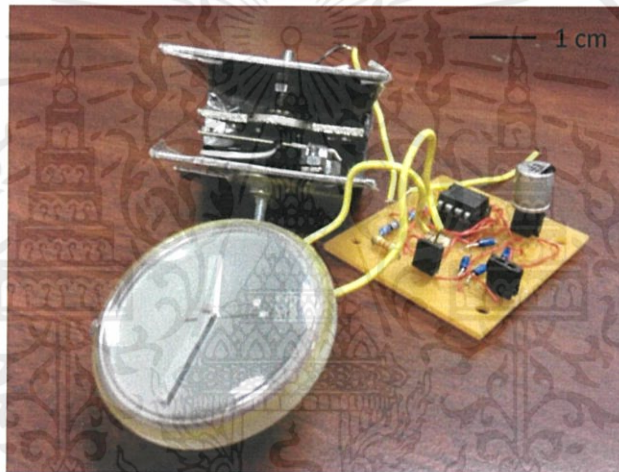
ในการสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน จำเป็นต้องมีวงจรเก็บพลังงานเพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้กับนาฬิกาข้อมือ โดยในการวิจัยใช้นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103 ดังรูปที่ 3.17 โดยนาฬิการุ่นนี้ต้องใช้ถ่านที่จ่ายไฟกระแสตรง 1.55 โวลต์ แต่แผ่นเพียโซอิเล็กทริก นั้นให้พลังงานไฟฟ้าเป็นกระแสสลับผู้วิจัยจึงต้องใช้วงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อทำให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง 1.55 โวลต์โดยวงจรเก็บพลังงานดังรูปที่ 3.18 และนำไปต่อกับนาฬิกาและอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานได้ดังรูปที่ 3.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิรูปที่ 3.17 นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน



รูปที่ 3.19 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน, อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและนาฬิกา

โดยวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)
- วงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator)

3.4.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจะใช้วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เป็นกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงและนำไปเก็บพลังงานที่ตัวเก็บประจุ โดยวงจรนี้ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ซอทกัไดโอด BAT46 (Schottky Diode BAT46) จำนวน 4 ตัว
- ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor) จำนวน 1 ตัว

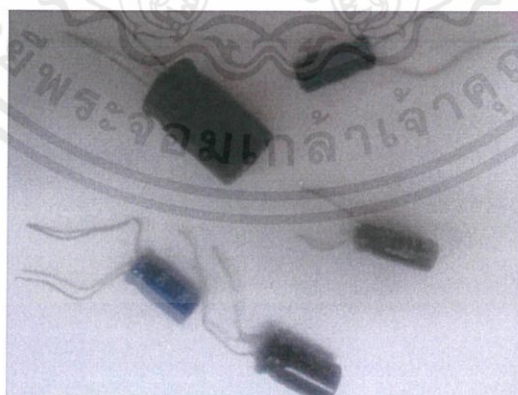
3.4.1.1 ขอทกัไดโอด BAT46

ขอทกัไดโอด BAT46 ดังรูปที่ 3.20 เป็นไดโอดที่นำมาใช้ในการต่อวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้ ไดโอดชนิดนี้เพราะแรงดันที่สูญเสียผ่านไดโอดมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับไดโอดทั่วไป เช่น ไดโอดแบบซิลิกอนที่ใช้แรงดันในการทำงานถึง 0.7 V ซึ่ง ขอทกัไดโอด BAT46 ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงานเพียง 0.2-0.3 V เท่านั้นซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มาก แต่อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้ใช้พลังงานที่น้อยมากดังนั้น ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด จึงมีผลอย่างมากกับแรงดันขาออกที่จะนำไปใช้ต่อไป

รูปที่ 3.20 ขอทกัไดโอด BAT46 (Schottky Diode BAT46)

3.4.1.2 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ ใช้เพื่อเก็บพลังงานที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อนำพลังงานที่ได้ไปจ่ายให้กับนาฬิกาต่อไป โดยค่าของตัวเก็บประจุนี้ ขึ้นอยู่กับว่าจะต้องการระยะเวลาในการทำงานเท่าไร ดังนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งจะถูกวิจัยต่อไปในอนาคต

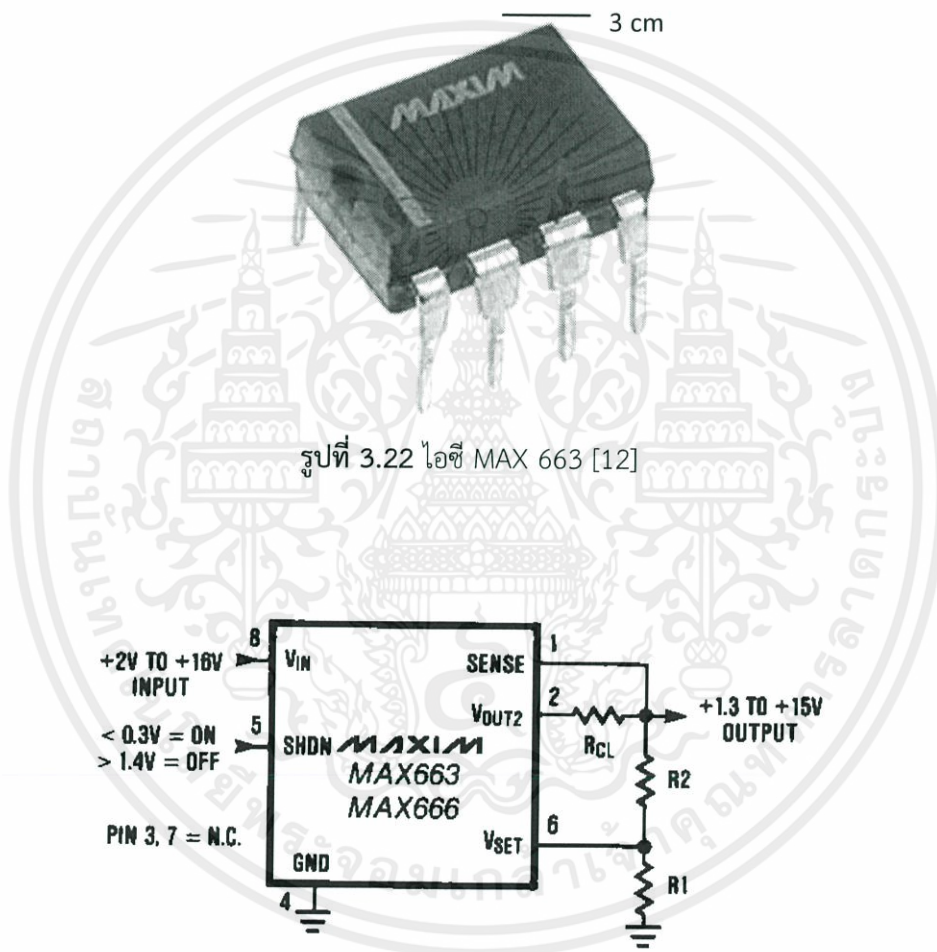


รูปที่ 3.21 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator)

หลังจากผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) จะได้ไฟฟ้ากระแสตรง แต่หน้าพิกาก็ใช้ในการทดลองนี้ต้องใช้ไฟ 1.55 โวลต์เพื่อที่จะให้ทำงาน จึงนำมาเข้าวงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator) โดยจะใช้ไอซี MAX663 สาเหตุที่เลือกใช้เพราะเป็นไอซีที่กินกระแส น้อยและสามารถแปลงค่าแรงดันอยู่ในช่วง 2 โวลต์ ถึง 16.5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.22 และ ความต้านทาน อีก 2 ตัว โดยผู้วิจัยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 1.6 โวลต์เพื่อทำให้นาฬิกานั้นสามารถทำงานได้ ดังรูป 3.23



$$|V_{OUT}| = 1.30 \frac{R1 + R2}{R1} V$$

รูปที่ 3.23 เช้าวงจรคงค่าระดับแรงดัน (Voltage Regulator) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่เลือกใช้ IC MAX663 เพราะ ว่า IC ตัวนี้เพราะว่าใช้แค่ไฟเลี้ยงแค่ 12 ไมโครแอมป์ และแผ่นพีซีโออิเล็กทรอนิกส์ให้กระแสระดับมิลลิแอมป์ เท่านั้น อีกเหตุผลหนึ่งคือ ไอซีตัวนี้สามารถรับค่าแรงดันได้ ตั้งแต่ 2 โวลต์ ถึง 16.5 โวลต์ซึ่งอยู่ในช่วงที่แผ่นพีซีโออิเล็กทรอนิกส์สามารถให้พลังงานได้พอดี

$$\text{โดย } V_{\text{out}} = 1.3 \frac{R_1 + R_2}{R_1} v \dots\dots\dots (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 เพื่อให้ได้แรงดัน 1.6 โวลต์ตามต้องการจึงใช้ ความต้านทาน

$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ $R_2 = 230 \text{ K}\Omega$ โดยไม่มี R_{cl} และให้ขา 5 หรือ SHDN ลงกราวด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และ ผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

- การวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป
- การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า

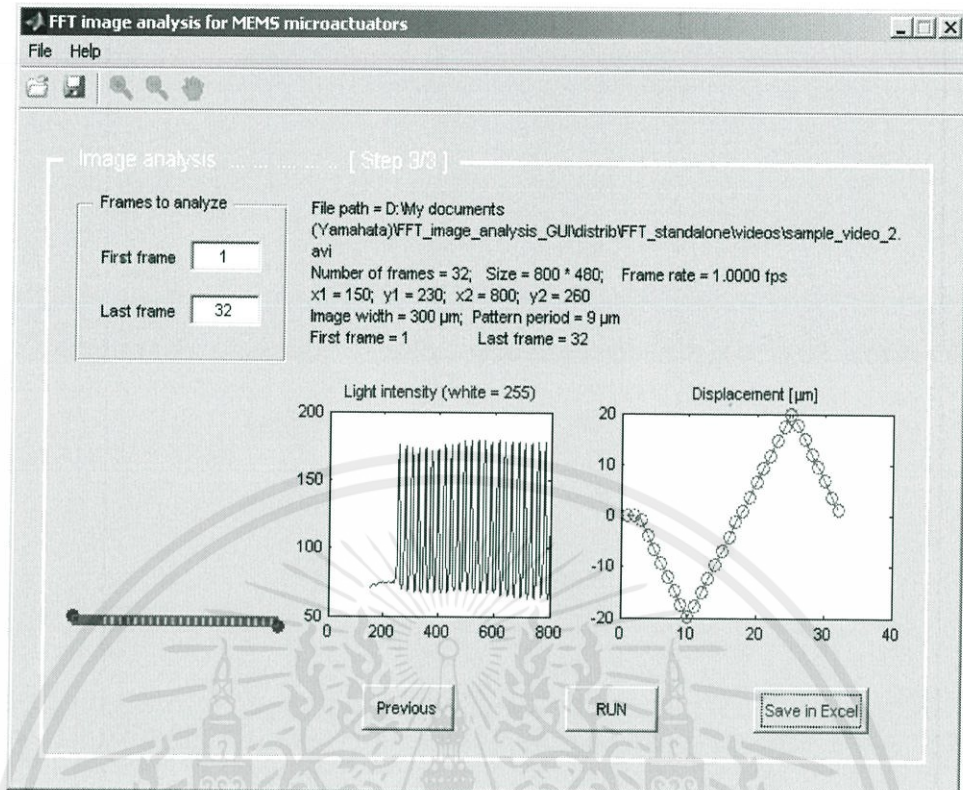
4.1 การวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บพลังงานโดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

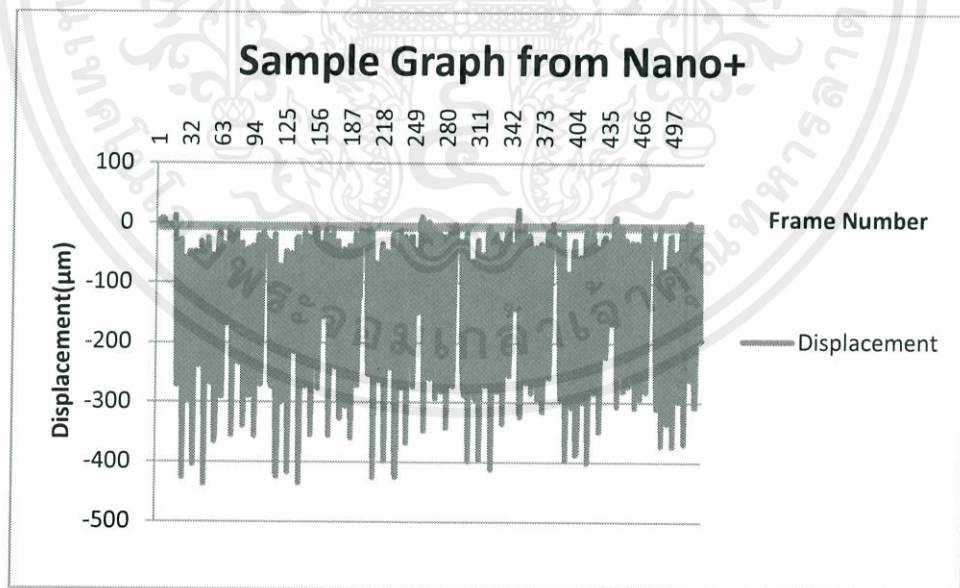
4.1.1 วิธีการทดลองของการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

ในการทดลองเราจะใช้เครื่องจักรจับแผ่นโลหะโดยที่ปลายแผ่นโลหะมีแม่เหล็กติดอยู่แล้วจ่ายไฟเพื่อให้มอเตอร์หมุนโดยมีแผ่นอะคริลิกติดอยู่กับมอเตอร์และที่แผ่นอะคริลิกก็ติดแม่เหล็กเข้าไป โดยที่แผ่นอะคริลิกติดกับสเตปมอเตอร์ซึ่งถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้หมุนด้วยความเร็ว 2 Hz สั่งการให้หมุน 360° วนกลับเป็นคาบ ด้วยแนวคิดโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้มีหลักการเกี่ยวกับการหมุนของวงล้อที่ไม่สมดุล (Unbalance Wheel) ในนาฬิกา ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 2-4 Hz ดังนั้นจึงนำหลักการเดียวกันนี้อ้างอิงในการสั่งการความเร็วของมอเตอร์เพื่อใช้ในการทดลอง และเมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ แผ่นอะคริลิกจะหมุนทำให้แม่เหล็กขั้วเดียวกันมาเจอกันก็จะทำให้แผ่นโลหะเกิดการกระจัดแล้วเราจะใช้วิธีการอัติโนมัติ แล้วนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Nano Plus Metrology for MEMS ดังรูปที่ 4.1 เพื่อวิเคราะห์ระยะกระจัดของแผ่นโลหะแสดงเลขสตีลได้ด้วยวิธี image processing ซึ่งให้ผลออกมาเป็นกราฟการกระจัดและเป็นข้อมูลบนโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างกราฟการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano plus ได้ ดังรูปที่ 4.2 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม ANSYS ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างของระบบ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Nano Plus Metrology for MEMS



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างกราฟการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus Metrology for MEMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 รายละเอียดการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงสามารถนำมาสรุปหัวข้อที่จะวิเคราะห์หาต้นแบบของแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็กสำหรับนาฬิกาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับนาฬิกา ได้ดังนี้

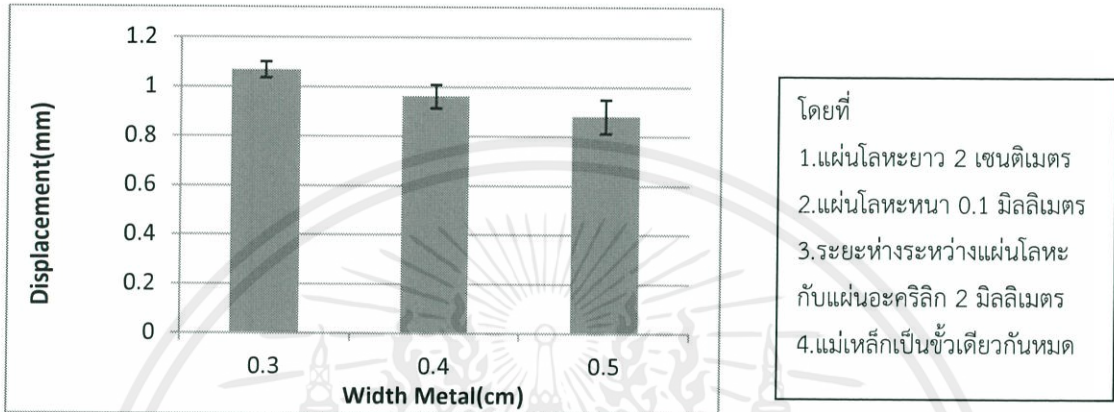
1. เปลี่ยนแปลงความกว้าง เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของโลหะว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร โดยจะเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะให้มีความกว้าง 0.3, 0.4, 0.5 เซนติเมตร โดยที่โลหะ 2 เซนติเมตร ที่เลือกทดลองโดยใช้ความกว้างประมาณนี้เพราะสอดคล้องกับขนาดนาฬิกา
2. เปลี่ยนแปลงความยาว เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของโลหะว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร โดยเราจะเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะให้มีความยาว 1, 1.5, 2 เซนติเมตร โดยที่โลหะกว้าง 0.5 เซนติเมตรที่เลือกทดลองโดยใช้ความกว้างประมาณนี้เพราะสอดคล้องกับขนาดนาฬิกา
3. เปลี่ยนแปลงระยะห่าง เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับอะคริลิกของโลหะว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร โดยเราจะเปลี่ยนระยะห่างให้มีระยะ 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 มิลลิเมตร เพราะถ้าระยะห่างระหว่างโลหะกับอะคริลิกใกล้กันมากกว่านี้อาจทำให้แม่เหล็กติดกันได้
4. เปลี่ยนจำนวนแม่เหล็ก เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจำนวนแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิกว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร โดยจะเปลี่ยนจำนวนแม่เหล็กเป็น 4 ตัว 8 ตัว และ 12 ตัว และวางระยะห่างเท่าๆกัน
5. เปลี่ยนตำแหน่งของแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแม่เหล็กบนแผ่นโลหะว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร โดยเปลี่ยนจากเดิมที่ติดที่ปลายแผ่นโลหะเป็นติดที่กึ่งกลางของแผ่นโลหะ
6. เปลี่ยนขั้วแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิก เป็นการวิเคราะห์โดยการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กจากเดิมที่ใช้ขั้วเดียวกันหมดเป็นสลับขั้วกันระหว่างเหนือกับใต้ว่ามีผลต่อระยะกระจัดอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

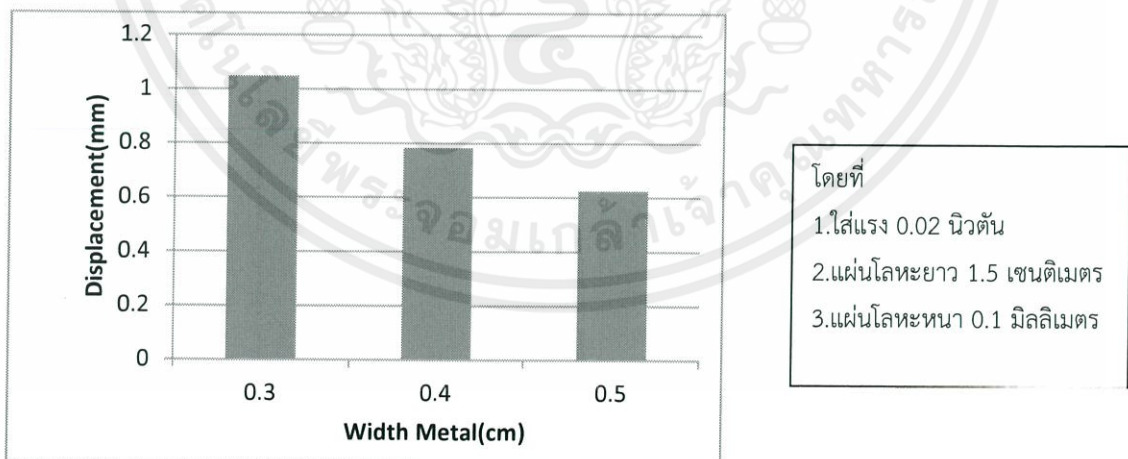
4.1.3.1 เปลี่ยนแปลงความกว้าง

จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus แล้วเปรียบเทียบการกระจัดได้ผลดังรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างมากขึ้นระยะกระจัดของแผ่นโลหะจะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความกว้างของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัด

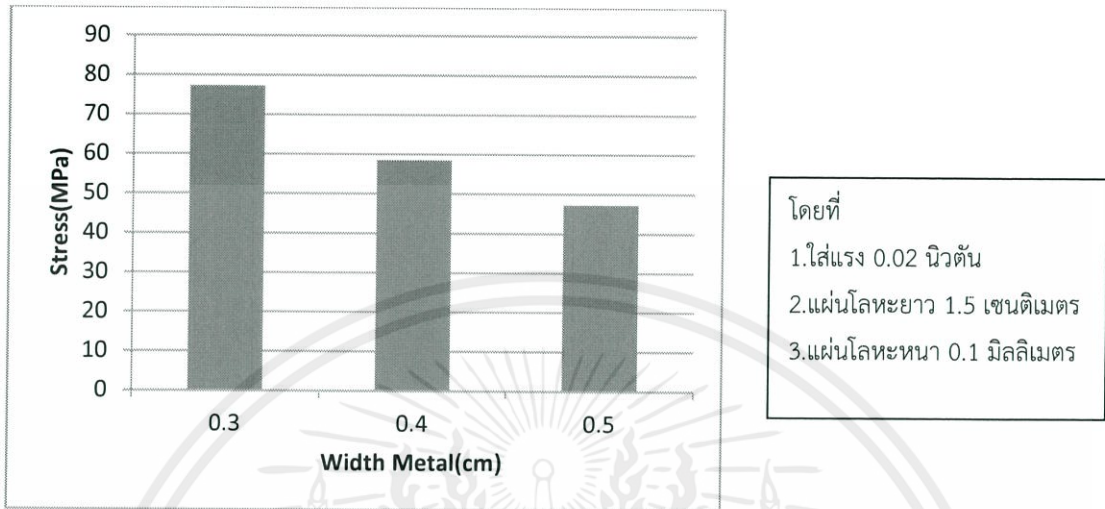
จากการจำลองผลจากโปรแกรม ANSYS โดยเปรียบเทียบการกระจัดกับความกว้าง โดยการใส่แรง 0.02 นิวตัน ได้ดังรูปที่ 4.4 จะพบว่าผลที่ได้นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟ 4.3 จะได้ผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้นการกระจัดของแผ่นโลหะจะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความกว้างของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

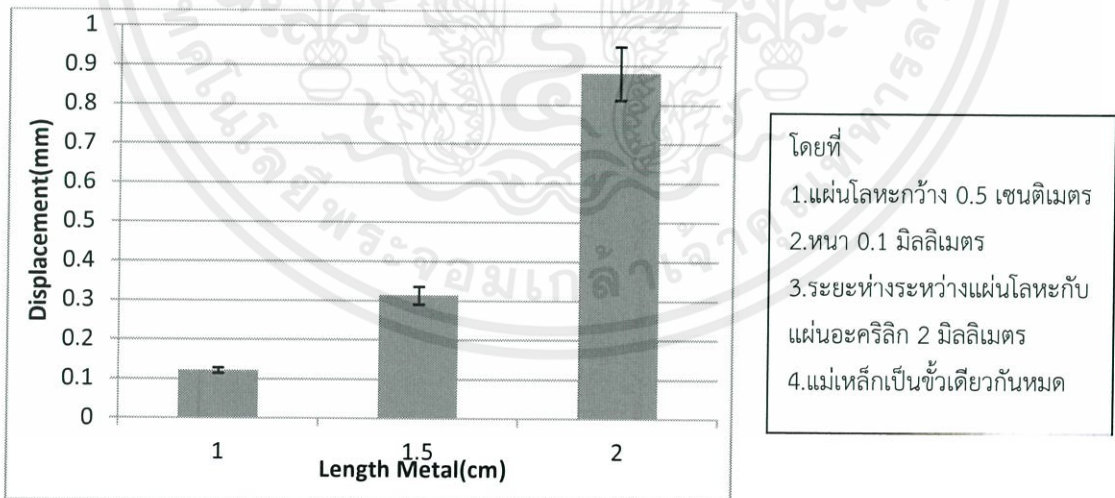
จากการจำลองผลโปรแกรม ANSYS โดยเปรียบเทียบความเค้นกับความกว้าง ดังรูปที่ 4.5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อระยะการจัดมีค่ามากแล้วความเค้นก็มีค่ามากขึ้นด้วยซึ่งจะทำให้เพียโซอิเล็กทริกสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาได้มากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความเค้นของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS

4.1.3.2 เปลี่ยนแปลงความยาว

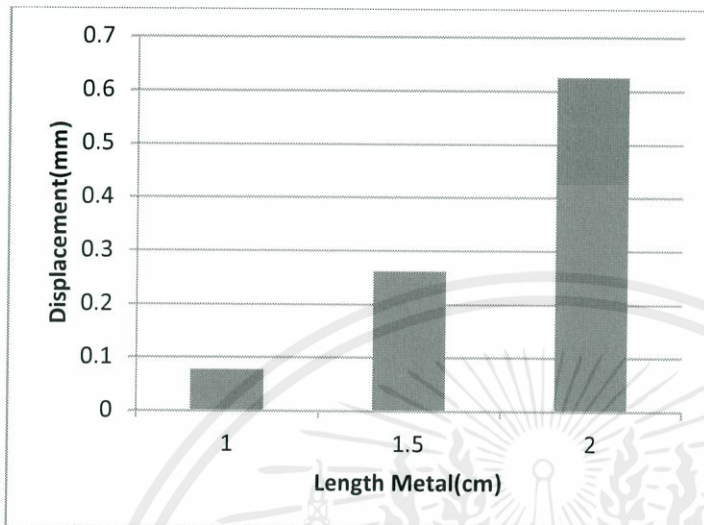
จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus โดยนำมาเปรียบเทียบการกระจัดกับความยาวได้ดังรูปที่ 4.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวมากขึ้นระยะกระจัดของแผ่นโลหะจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบยาวของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองผลจากโปรแกรม ANSYS โดยเปรียบเทียบการกระจัดกับความยาว โดยการใส่แรง 0.02 นิวตัน ได้ดังรูปที่ 4.7 จะพบว่าผลที่ได้นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟ 4.6 จะได้ผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อความยาวเพิ่มขึ้นการกระจัดของแผ่นโลหะจะมีค่าเพิ่มขึ้น

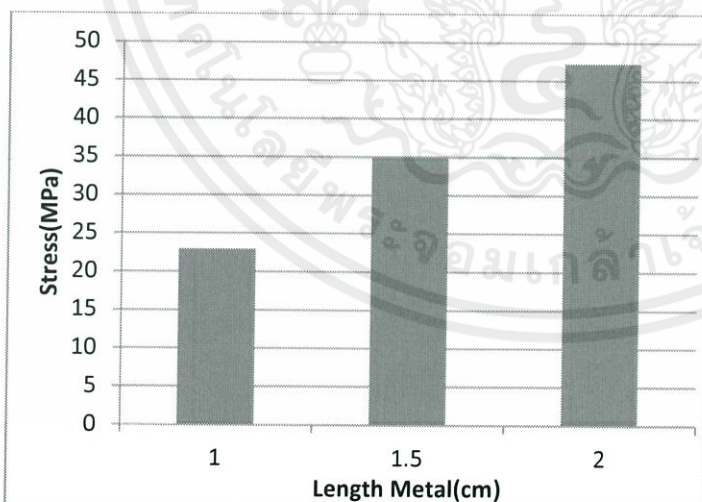


โดยที่

- 1.ใส่แรง 0.02 นิวตัน
- 2.แผ่นโลหะกว้าง 0.5 เซนติเมตร
- 3.หนา 0.1 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความยาวของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS

จากการจำลองผลโปรแกรม ANSYS โดยเปรียบเทียบความเค้นกับความยาว ดังรูปที่ 4.8 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อระยะการกระจัดมีค่ามากแล้วความเค้นก็มีค่ามากขึ้นด้วยซึ่งจะทำให้เพียโซอิเล็กทริกสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาได้มากขึ้นด้วยซึ่งคล้ายกับการทดลองเปลี่ยนแปลงความกว้าง



โดยที่

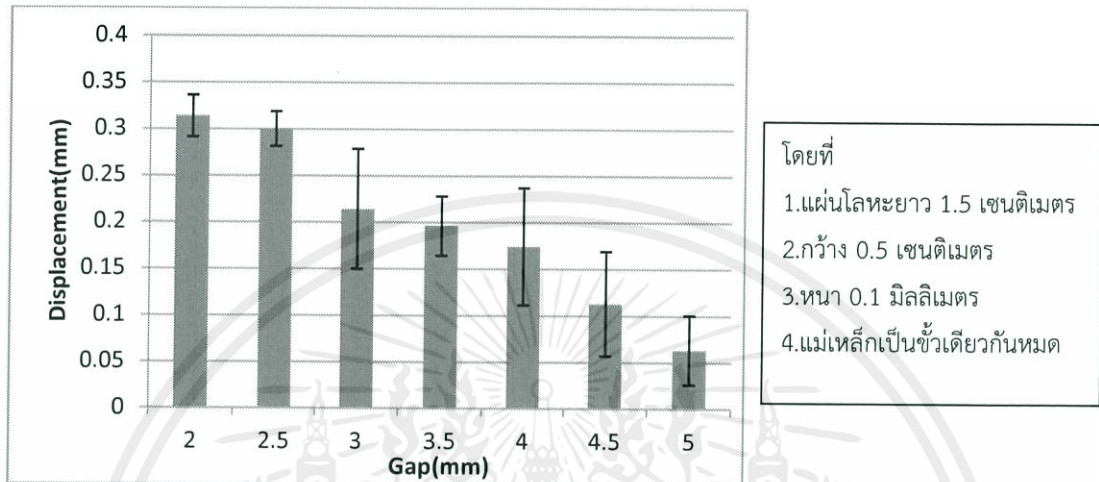
- 1.ใส่แรง 0.02 นิวตัน
- 2.แผ่นโลหะกว้าง 0.5 เซนติเมตร
- 3.หนา 0.1 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความเค้นของแผ่นโลหะกับระยะการกระจัดโดยใช้ ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 เปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับแผ่นอะคริลิก

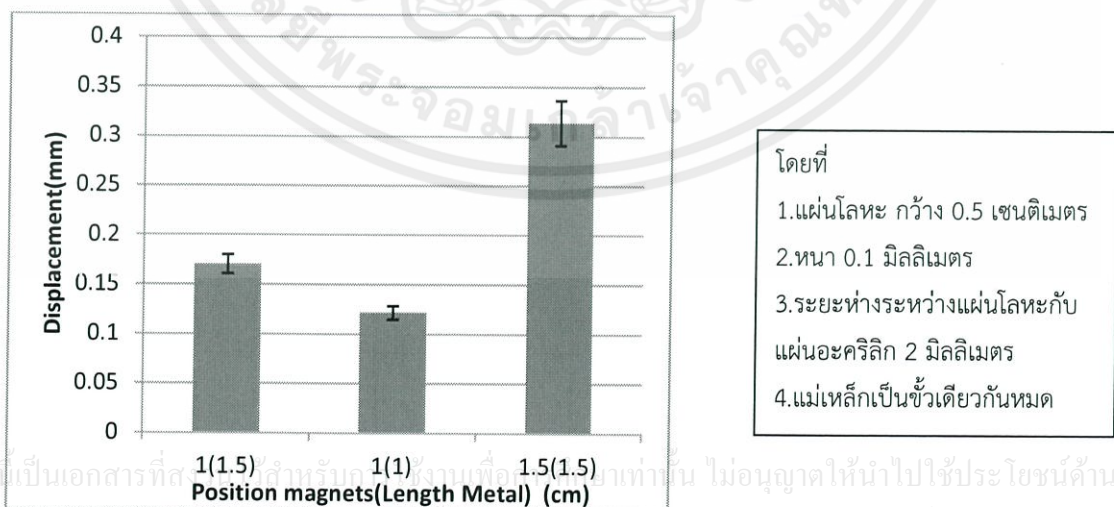
จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus โดยนำมาเปรียบเทียบการกระจัดกับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับแผ่นอะคริลิก จะได้กราฟ ดังรูปที่ 4.9 จะพบว่าเมื่อระยะห่างมากขึ้นจะทำให้ระยะกระจัดของแผ่นโลหะจะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับแผ่นอะคริลิกกับระยะการกระจัด

4.1.3.4 เปลี่ยนจำนวนแม่เหล็ก

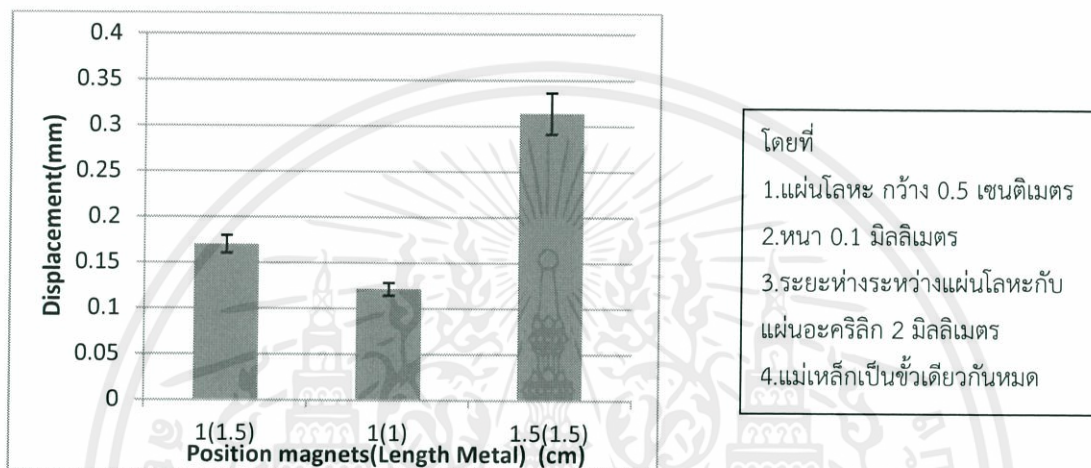
จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus โดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิกจะได้ผลดังรูปที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อจำนวนแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิกมีจำนวนมากขึ้นจะทำให้ระยะกระจัดของแผ่นโลหะมีค่าลดลง ซึ่งที่ได้ผลแบบนี้เพราะว่าแผ่นโลหะเมื่อถูกผลักให้เกิดระยะกระจัดออกไปแล้วยังไม่กลับมานะจุดสมดุล ก็ถูกทำให้ผลักออกไปอีกทำให้ระยะกระจัดที่ได้มีค่าน้อยลงตามจำนวนแม่เหล็ก



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบจำนวนแม่เหล็กกับระยะการกระจัด

4.1.3.5 เปลี่ยนตำแหน่งของแม่เหล็ก

จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแม่เหล็กของแผ่นโลหะโดยจะได้ดังรูป 4.11 จะพบว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความยาวของแผ่นโลหะที่เท่ากันคือ 1.5 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดที่ได้มีค่าน้อยลงเกือบเท่าตัว แต่ถ้าเปรียบกับตำแหน่งแม่เหล็กที่เท่ากันคือ 1 cm จะเห็นได้ว่าได้ระยะกระจัดมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับทรัพยากรที่เสียไปและขนาดที่พอเหมาะจึงสรุปได้ว่า การวางแม่เหล็กบนแผ่นโลหะเข้าหาแกนทำให้ระยะกระจัดลดลง

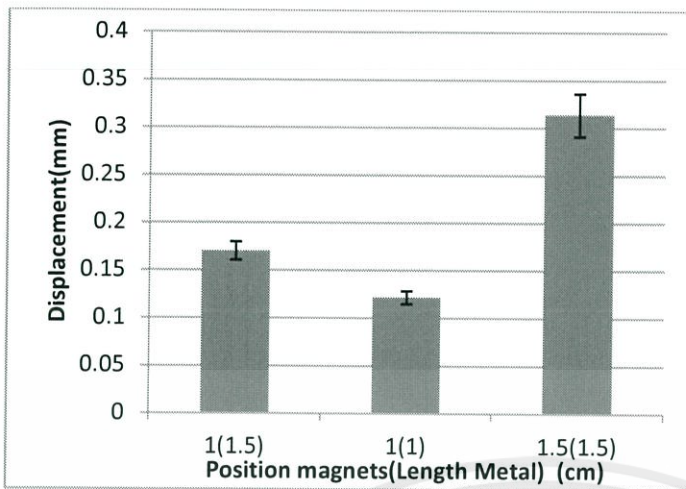


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบตำแหน่งแม่เหล็กกับระยะการกระจัด

4.1.3.6 เปลี่ยนขั้วแม่เหล็ก

จากผลการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Nano Plus โดยการวางแม่เหล็กสลับขั้วกัน ดังรูปที่ 4.12 จะพบว่า จำเป็นต้องวางแผ่นโลหะให้มีระยะห่างจากแผ่นอะคริลิกมากขึ้นถึง 3.5 mm แต่ให้ระยะการกระจัดที่มากกว่าเมื่อเทียบกับจำนวนแม่เหล็กที่เท่ากัน และให้ระยะการกระจัดที่ใกล้เคียงกับจำนวนแม่เหล็กที่น้อยกว่า ทำให้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเปลี่ยนการวางแม่เหล็กเป็นแบบสลับขั้วจะทำให้ระยะกระจัดของแผ่นโลหะมีค่ามากขึ้น แต่ทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับแผ่นอะคริลิกมีค่ามากขึ้น ซึ่งทำให้ขนาดของต้นแบบมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งคือสิ่งสำคัญมากในการออกแบบ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดที่เล็กกว่าเพื่อให้ได้ต้นแบบที่ใกล้เคียงกับนาฬิกามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่

1. แผ่นโลหะ ยาว 1.5 เซนติเมตร
 2. แผ่นโลหะกว้าง 0.5 เซนติเมตร
 3. แผ่นโลหะหนา 0.1 มิลลิเมตร
 5. แม่เหล็กเป็นขั้วเดียวกัน
- หมด

รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบขั้วเดียวกันแม่เหล็กกับขั้วต่างกันเทียบกับระยะการกระจัด

4.1.4 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

จากการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไปเพื่อหาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก เพื่อนำไปสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนั้นสามารถ สรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปผลการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

การทดลอง	สรุปผลการทดลอง
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะ	ความกว้าง $\propto \frac{1}{\text{ระยะกระจัด}}$
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะ	ความยาว $\propto \text{ระยะกระจัด}$
วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม	ระยะห่าง $\propto \frac{1}{\text{ระยะกระจัด}}$
วิเคราะห์จำนวนของแม่เหล็กบนโลหะวงกลม	แม่เหล็ก $\propto \frac{1}{\text{ระยะกระจัด}}$
ตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ	ตำแหน่ง $\propto \frac{1}{\text{ระยะกระจัด}}$

เงื่อนไข

1. เวลาในการทดลอง 15 วินาที
2. ทดลอง 40 ครั้ง
3. ใช้โลหะแอสแตนเลสสตีล ในการทดลอง
4. โลหะมีความหนา 0.1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะสามารถออกแบบขนาดของแผ่นพียโซอิเล็กทริก ได้ดังรูปที่รูปที่ 4.13 จะได้ว่าขนาดของโลหะที่ออกแบบนั้นคำนึงถึงเงื่อนไขหลักๆ 3 อย่าง คือ

1. ระยะการจัดสูงสุด
2. ความแข็งแรง
3. ขนาด

โดยผู้วิจัยเลือกขนาดของโลหะดังนี้ โดยเลือกความยาวโลหะ 2 เซนติเมตร เพราะให้ระยะการจัดสูงสุดแต่กลับเลือกความกว้างโลหะ 0.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.13 ทั้งๆที่ให้ระยะการจัดต่ำสุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงแล้วจะพบว่าความกว้างที่เพิ่มมากขึ้นทำให้โลหะมีระยะการจัดน้อยลงแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เพิ่มความแข็งแรงได้มากพอสมควร ซึ่งในการออกแบบขนาดของวัสดุต่างๆจำเป็นต้องคำนึงถึงความแข็งแรงด้วย มิฉะนั้นวัสดุที่นำมาใช้จะมีระยะเวลาการใช้งานน้อยลง

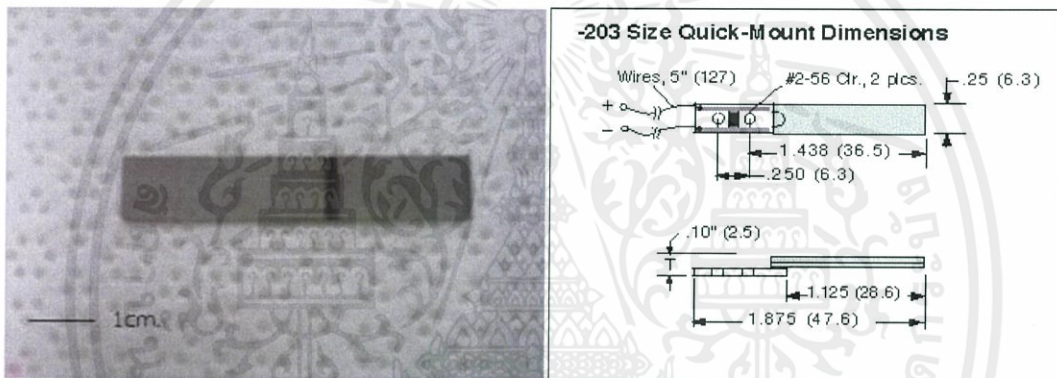
ต่อมาจากการทดลองผู้วิจัยเลือกที่จะวางระยะห่างระหว่างโลหะกับอะคริลิกไวใกล้ที่สุดเท่าที่จะวางได้คือ 2 มิลลิเมตร และในส่วนของจำนวนแม่เหล็กบนแผ่นอะคริลิก จากผลการทดลองที่กล่าวไป จะต้องเลือกวางแม่เหล็ก 4 อันห่างกันอันละ 90 องศา แต่เนื่องจากการวางจำนวนแม่เหล็กขึ้นอยู่กับความยาวของและความกว้างของแผ่นโลหะด้วย ดังนั้นเมื่อจึงเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นโลหะและจะต้องวิเคราะห์การวางจำนวนแม่เหล็กใหม่ด้วย จึงจะออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ต่อมาจากการทดลองเลือกที่จะวางแม่เหล็กเป็นขั้วเดียวกัน เพื่อให้เกิดการผลักกันอย่างเดียว เนื่องจากการวางแม่เหล็กแบบสลับชั้นจำเป็นต้องวางโลหะกับอะคริลิกห่างกันมากกว่า 3.5 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าการวางแม่เหล็กแบบขั้วเดียวกันเกือบ 2 เท่า ถึงแม้ว่าการวางแม่เหล็กแบบสลับขั้วจะได้ระยะการจัดมากกว่าการวางแม่เหล็กแบบขั้วเดียวกัน แต่ในการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงขนาดของวัสดุด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้เลือกการวางแม่เหล็กแบบขั้วเดียวกัน



รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของโลหะที่ออกแบบ

จากผลการทดลองจึงสามารถนำมาออกแบบแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยถ้าต้องการระยะการจัดที่มากจำเป็นต้องเลือกขนาดที่ยาวไว้ก่อนและต้องกว้างน้อยสุดเท่าที่จะทำได้ แต่ในการออกแบบดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าจำเป็นต้องคำนึงถึงความแข็งแรงด้วย เมื่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีขนาดดังกล่าวจะให้ระยะการจัดมาก แต่จะเกิดความอ่อนตัว ซึ่งสามารถแตกหักได้ง่าย ไม่มีความแข็งแรง ดังนั้นคณะผู้จัดจึงได้ออกแบบให้แผ่นมีความยาว เพื่อให้ได้ระยะการจัดที่มากและใช้แผ่นที่มีความกว้างมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นโลหะ ซึ่งอาจจะทำให้ระยะการจัดน้อยลงแต่เมื่อเทียบกับความแข็งแรงแล้ว ถือว่าเป็นการออกแบบที่ลงตัวและเหมาะสมที่สุด ซึ่งจากการออกแบบก็สามารถเลือกขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ ตามรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมตามที่ออกแบบไว้ และมีขายจริงตามท้องตลาด ซึ่งในการออกแบบวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงว่าวัสดุนั้นๆมีขายจริงตามท้องตลาด ผู้วิจัยจึงเลือกเพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-A4-203X ซึ่งมีขนาดกว้าง 0.64 เซนติเมตร ยาว 3.18 เซนติเมตร หนา 0.051 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 แผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เลือกใช้ [15]

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-A4-203X

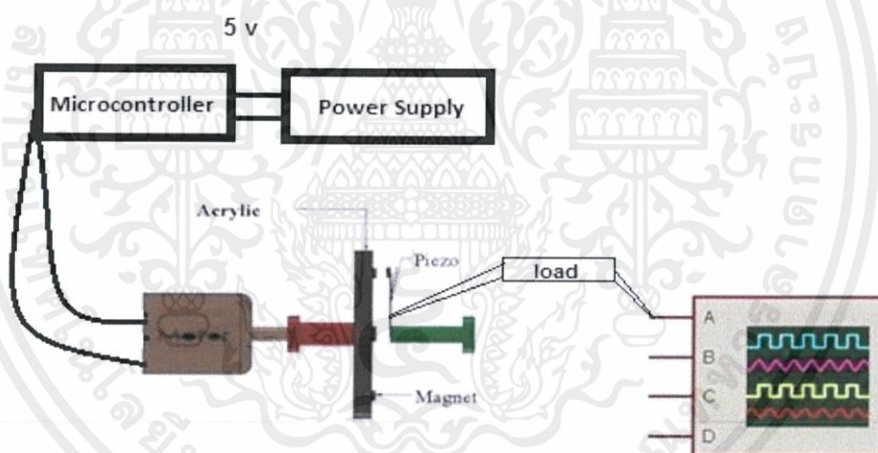
Piezoelectric	Deflection (mm)	Voltage (V)	Current ($\mu\text{A}/\text{Hz}$)	Power (mW)
T220-A4-203X	± 0.38	16	3	1.9

4.2 การวิเคราะห์หาคงสมบัติทางไฟฟ้า

เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) ค่าโหลดที่เหมาะสม (Optimal load) เพื่อวิเคราะห์หาจุดยึดและตำแหน่งที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.2.1 วิธีการทดลองของการวิเคราะห์หาคณสมบัติทางไฟฟ้า

ทำเหมือนการทดลองวิเคราะห์หาคณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเปลี่ยนจากแผ่นโลหะเป็นแผ่นเพียโซอิเล็กทริกโดยที่ปลายแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีแม่เหล็กติดอยู่แล้วจ่ายไฟเพื่อให้อมอเตอร์หมุน โดยมีแผ่นอะคริลิกติดอยู่กับมอเตอร์และที่แผ่นอะคริลิกก็ติดแม่เหล็กเข้าไป โดยที่แผ่นอะคริลิกติดกับสเตปมอเตอร์ซึ่งถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้หมุนด้วยความเร็ว 2 Hz สั่งการให้หมุน 360° ไปกลับเป็นคาบ ด้วยแนวคิดโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้มีหลักการเดียวกับการหมุนของวงล้อที่ไม่สมดุล (Unbalance Wheel) ในนาฬิกา ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 2-4 Hz ดังนั้นจึงนำหลักการเดียวกันนี้มาอ้างอิงในการสั่งการความเร็วของมอเตอร์เพื่อใช้ในการทดลอง และเมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ แผ่นอะคริลิกจะหมุนทำให้แม่เหล็กขั้วเดียวกันมาเจอกันก็จะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดการกระจัดเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแส AC ขึ้นมาและนำมาผ่านโหลด โดยใช้ค่าความต้านทานและเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อยๆโดยมีค่าความต้านทานตั้งแต่ 2 โอห์ม ถึง 5 เมกะโอห์ม เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ด้วยเครื่องออสซิลอสโคป และวิเคราะห์หาระแสไฟ และกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากค่าความต้านทานนั้นๆ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วิธีการทดลองการวิเคราะห์หาคณสมบัติทางไฟฟ้า

4.2.2 รายละเอียดการทดลองการวิเคราะห์หาคณสมบัติทางไฟฟ้า

1. **เปลี่ยนแปลงความยาว** เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจุดยึดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยจะเปลี่ยนแปลงจุดยึดเสมือนทำให้เพียโซอิเล็กทริกมีความยาว 2, 2.5, 2.7 เซนติเมตร โดยให้ระยะห่างเท่ากับเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองเดิมว่ามีผลสอดคล้องกันหรือไม่

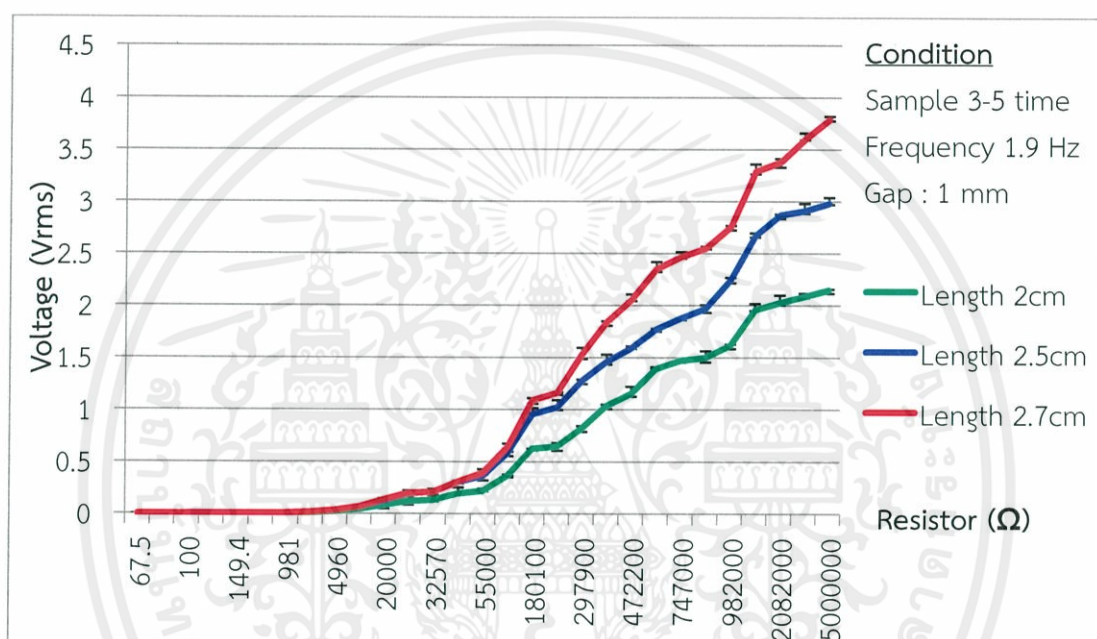
2. **เปลี่ยนแปลงระยะห่าง** เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอะคริลิกว่ามีผลต่อแรงดันไฟฟ้าอย่างไร โดยเราจะเปลี่ยนระยะห่างให้มีระยะ 1, 1.5, 2

มิลลิเมตร เพราะถ้าระยะห่างระหว่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอะคริลิกใกล้กันมากกว่านี้อาจทำให้แม่เหล็กดูดกันได้

4.2.3 ผลการทดลองของการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

4.2.3.1 เปลี่ยนแปลงความยาว

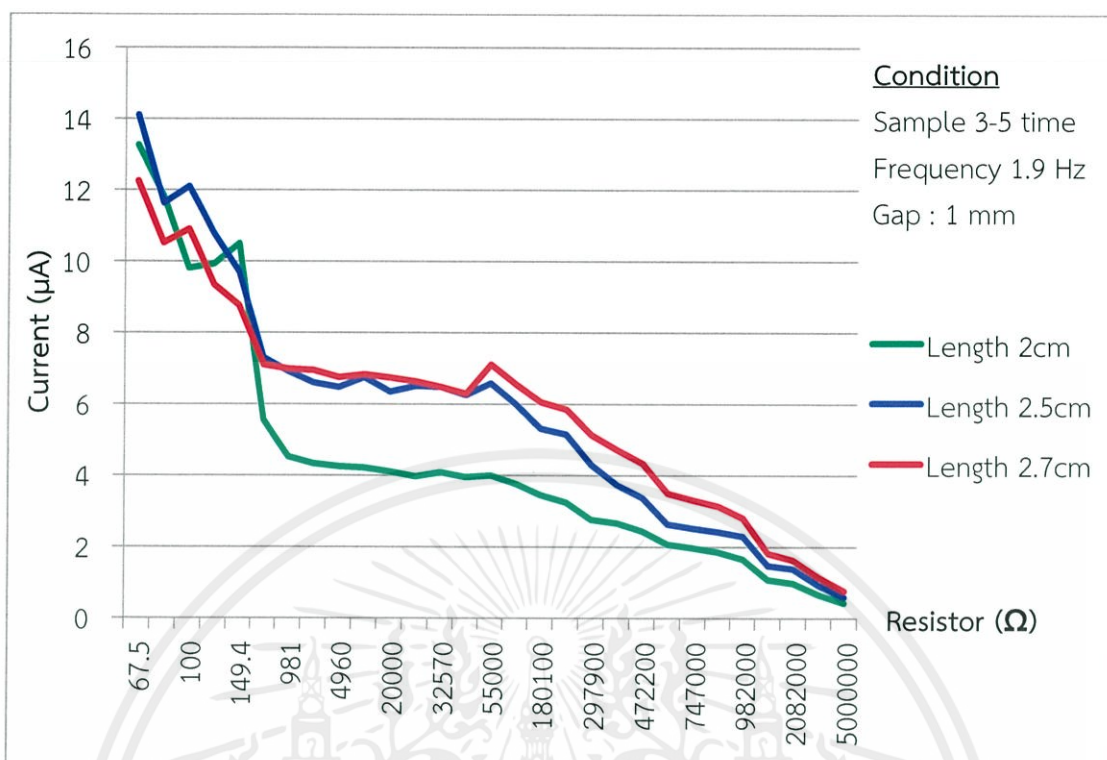
จากผลการทดลองการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจุดยึดของเพียโซอิเล็กทริก และโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานและนำมาเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานได้ผลดังรูปที่ 4.16 พบว่ามีความยาวนั้นมีผลสอดคล้องกับการทดลองแรกที่กำลังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว

จากรูปที่ 4.16 จะสามารถหากระแสไฟฟ้าได้จากสูตรของโอห์ม คือ $V = IR$ จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้าและนำมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานจะได้ผลดังรูปที่ 4.17 ซึ่งจะเป็นไปตามกฎของโอห์มคือถ้ากระแสแมก แรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อย

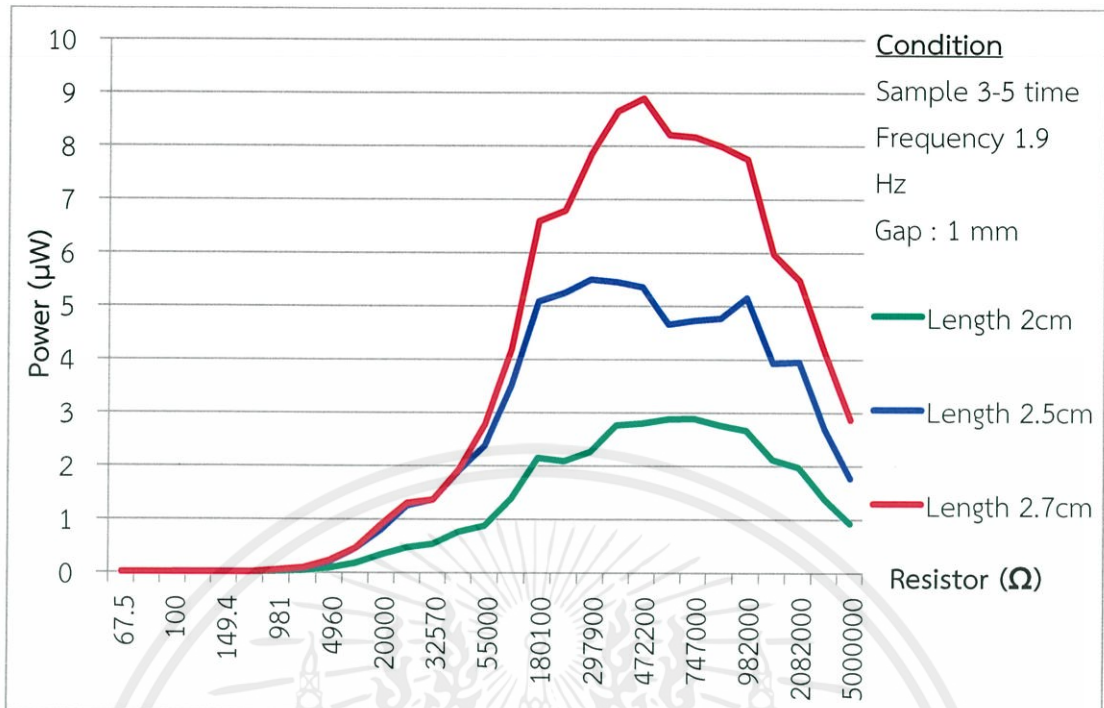
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว

เมื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าแล้วจึง สามารถวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าได้ จากสูตร $P=IV$ และสามารถเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ากับความต้านทานได้ดังรูปที่ 4.18 และพบว่า ที่ความยาว 2 เซนติเมตร จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ประมาณ 2.9 ไมโครวัตต์ ที่ความยาว 2.5 เซนติเมตร จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ ประมาณ 5.5 ไมโครวัตต์ และที่ความยาว 2.7 เซนติเมตร จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 9 ไมโครวัตต์ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความยาวของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

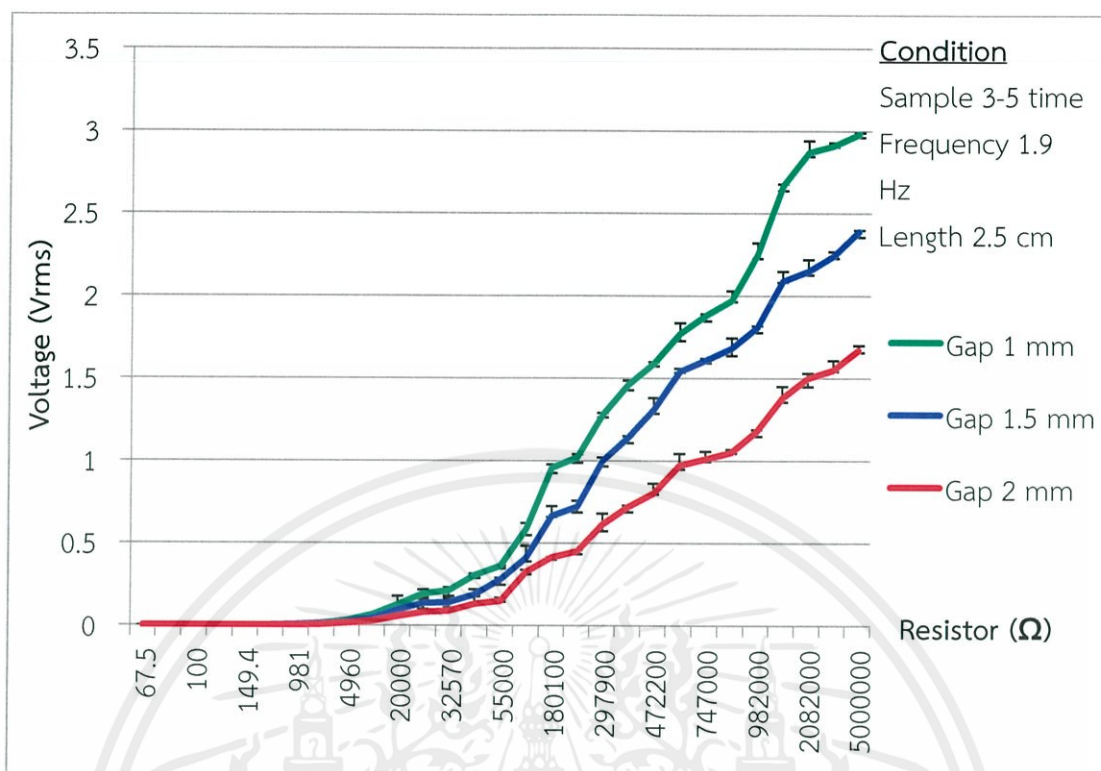


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนความยาว

4.2.3.2. เปลี่ยนแปลงระยะห่าง

จากการทดลองเพื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอะคริลิก โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานและนำมาเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานได้ผลดังรูปที่ 4.19 จะพบว่าที่ระยะห่างน้อยจะทำให้แรงดันไฟฟ้าจะมีค่ามาก

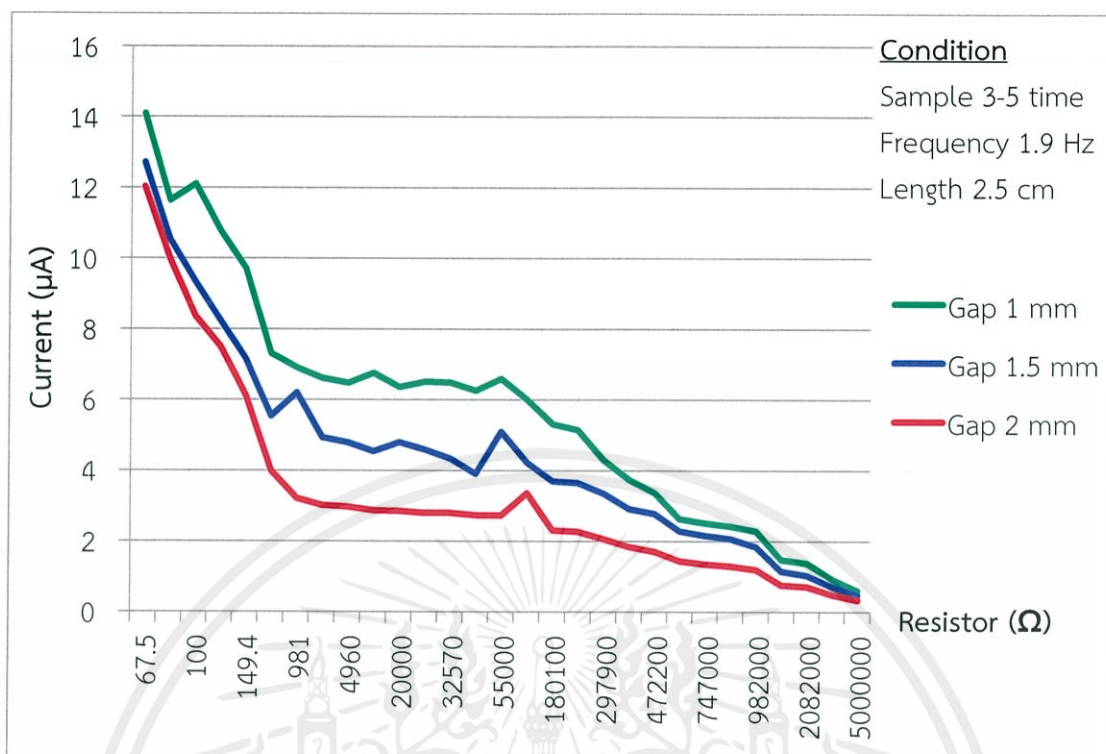
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง

จากรูปที่ 4.19 จะสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าได้จากสูตรของโอห์ม คือ $V = IR$ จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้าและนำมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานจะได้ผลดังรูปที่ 4.20 ซึ่งจะเป็นไปตามกฎของโอห์มคือถ้ากระแสมาก แรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อย

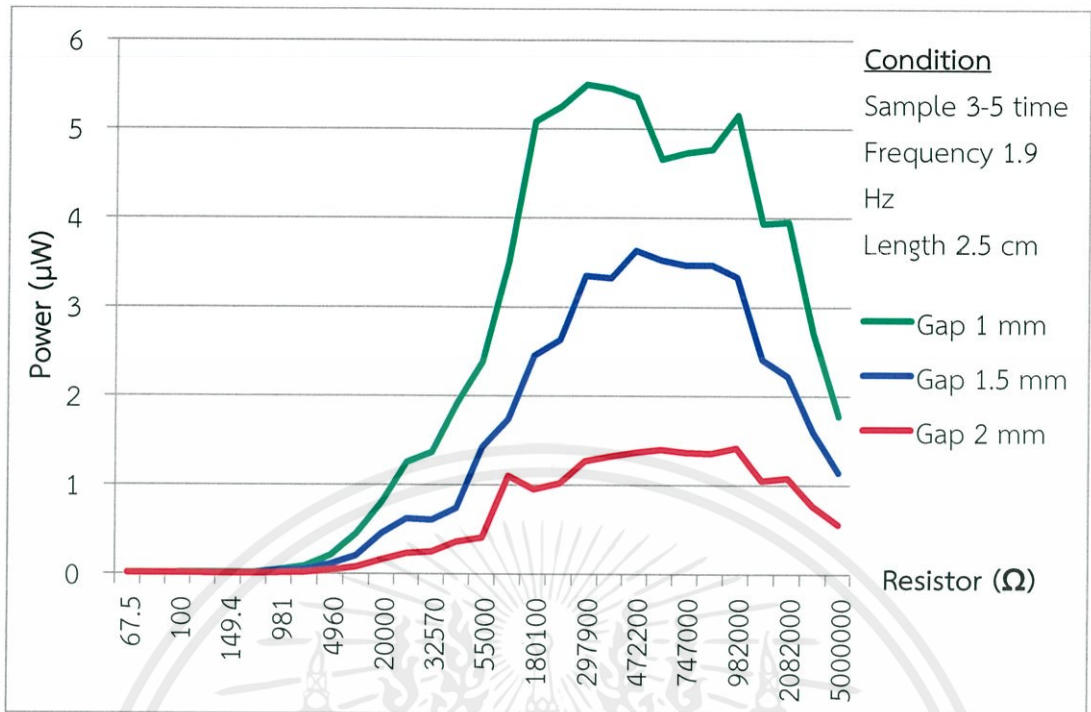
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง

เมื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าแล้วจึง สามารถวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าได้ จากสูตร $P=IV$ และสามารถเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ากับความต้านทานได้ดังรูปที่ 4.21 และพบว่า ที่ระยะห่าง 1 มิลลิเมตร จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ประมาณ 5.5 ไมโครวัตต์ ที่ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 3.6 ไมโครวัตต์ และที่ระยะห่าง 2 มิลลิเมตร จะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ประมาณ 1.4 ไมโครวัตต์ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อระยะห่างมากขึ้นกำลังไฟฟ้าจะน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทานในการทดลองเปลี่ยนระยะห่าง

4.2.4 สรุปผลการทดลองของการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า

จากการทดลองการวิเคราะห์หาค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ค่าโวลต์ที่เหมาะสม นั้นสามารถ สรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการทดลองของการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า

การทดลอง	สรุปผลการทดลอง
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	ความยาว \propto กำลังไฟฟ้า
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะห่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคลิลิก	ระยะห่าง $\propto \frac{1}{\text{กำลังไฟฟ้า}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีเงื่อนไขในการทดลองดังนี้

1. สุ่มตัวอย่าง 3-5 ครั้ง
2. มอเตอร์ความถี่ 1.9 Hz
3. ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก
4. ใช้แม่เหล็กขั้วเดียวกัน

จากตารางที่ 4.2 จะสามารถหาจุดยึดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ จะพบว่าการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนั้นคำนึงถึงเงื่อนไขหลักๆ 2 อย่าง คือ

1. กำลังไฟฟ้าสูงสุด
2. ความแข็งแรง

โดยผู้วิจัยเลือกจุดยึดเพียโซอิเล็กทริกให้เหมือนเพียโซอิเล็กทริกมีความยาว 2.5 เซนติเมตร เพราะให้กำลังไฟฟ้ามากและไม่เลือกที่ปลายของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพราะต้องคำนึงเรื่องความแข็งแรง และเลือกให้ระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นโลหะครึ่งวงกลม ให้ห่างกัน 1 มิลลิเมตร โดยจากการทดลองที่ ความยาว 2.5 เซนติเมตรและระยะห่าง 1 มิลลิเมตร ได้ผลสรุปดังนี้

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วิเคราะห์มาได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ย rms (root mean square) ในเวลา 15 วินาที ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริกให้ยาวออกมา 2.5 cm วางแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิกพลาสติกให้ห่างกัน 1 mm จากแผ่นและได้ทดลองซ้ำกันหลายครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยได้ผลดังรูปที่ 10 จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าสามารถวิเคราะห์หาโหลดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (optimal load) มีค่า 297.9 กิโลโอห์ม (k Ω) โดยแรงดันไฟฟ้าได้ 8.63 โวลต์ (Vp-p) และได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกำลังสอง (rms) เท่ากับ 1.28 โวลต์ (V) มีค่ากระแสไฟฟ้า เท่ากับ 4.3 ไมโครแอมแปร์ (μ A) และได้กำลังไฟฟ้า เท่ากับ 5.5 ไมโครวัตต์ (μ W)

ต่อมาได้ลองนำไปใช้จริงกับนาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103 ดังรูปที่ 4.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103

โดยที่นาฬิกา ยี่ห้อ SWATCH รุ่น PPK103 มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดังนี้ ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 1.55 V กระแสไฟฟ้า 120 nA และ กำลังไฟฟ้า 186 nW ซึ่งถือว่าใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานต่ำมากและเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่สร้างขึ้น พบว่าอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่สร้างขึ้นมีพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะใช้กับนาฬิกา

ต่อมาผู้ทดลองได้นำอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่สร้างขึ้นไปต่อกับวงจรเก็บพลังงานและนาฬิกา ซึ่งเป็นดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน, อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและนาฬิกา

ได้นำอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานไปติดกับแขนแล้วต่อกับวงเก็บพลังงานและนาฬิกาจริง เพื่อทดลองว่าอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนั้นสามารถทำให้นาฬิกาทำงานได้หรือไม่ ซึ่งพบว่าสามารถทำให้นาฬิกาทำงานได้จริงและมีการทำงานที่แม่นยำ แต่ในเรื่องของช่วงเวลาในการทำงานและเวลาที่นาฬิกาจะเริ่มทำงานนั้น ขึ้นกับค่าของตัวเก็บประจุ (Capacitive) โดยในตารางที่ 4.4 เป็นผลการทดลองอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานกับการเดินจริงด้วยความถี่ 0.9 Hz และความเร็ว 1.2 เมตรต่อวินาที หรือ 4.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใช้เครื่องเคาะจังหวะควบคุมความถี่ในการเดิน โดยจะเปลี่ยนแปลงตัวเก็บประจุเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งเมื่อตัวเก็บประจุมีค่ามากจะทำให้นาฬิกาทำงานได้นานขึ้นหรือเวลาที่ตัวเก็บประจุปล่อยแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น (Discharging Time) แต่เวลาที่นาฬิกาจะเริ่มทำงาน (Start time) จะนานกว่าตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อย ซึ่งได้มีแสดงผลเป็นระยะทางที่วัดได้จริงเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วน

Capacitor(μF)	Start time(s)	Discharging Time(s)	Distance(m)
47	27	10	36
100	58	21	64
200	180	45	216
300	518	70	622
400	1623	131	1948



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานพลังงานขนาดย่อสำหรับนาฬิกา สามารถที่จะกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในสถานะที่ไม่มีโหลด กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ 19 โวลต์ (Vp-p) และในสถานะที่มีโหลด อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ 8.63 โวลต์ (Vp-p) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกำลังสอง ได้ 1.28 โวลต์ (Vrms) คำนวณหากระแสไฟฟ้าได้ 4.3 ไมโครแอมแปร์ (μA) และได้กำลังไฟฟ้า เท่ากับ 5.5 ไมโครวัตต์ (μW) วิเคราะห์ที่โหลดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (optimal load) มีค่า 297.9 กิโลโอห์ม ($k\Omega$)

โดยนาฬิกาที่ใช้ถ่านเป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในการทำงานนั้นโดยทั่วไปจะใช้แรงดันไฟฟ้า อยู่ที่ 1.55 V กระแสไฟฟ้า 120 nA และกำลังไฟฟ้า 186 nW ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้พบว่า การเก็บพลังงานจากอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่สร้างขึ้นสามารถนำไปทำให้นาฬิกาทำงานได้จริง ซึ่งต่อมาได้ทดลองนำไปใช้กับนาฬิกาก็พบว่านาฬิกาทำงานได้จริง ตามที่ได้ศึกษาไว้ข้างต้น

5.2 ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข

1. การใช้วัสดุเหล็กมาเป็นโครงสร้างกล่องเพื่อป้องกันเส้นแรงแม่เหล็กไว้เหล่านั้น มีปัญหาที่เหล็กเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดี ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกอาจรั่วไหลผ่านกล่องเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า โดยข้างต้นได้มีการป้องกันโดยการนำฉนวนพันรอบแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของพลังงานไฟฟ้าไปสู่เหล็ก

2. เนื่องจากอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานมีขนาดเล็ก ในการทดลองจึงจำเป็นต้องตรวจสอบระยะต่างๆอย่างแม่นยำโดยใช้บรรทัดฐานเดียวกัน เพราะค่าความแตกต่างเพียงไม่ถึง 1 มิลลิเมตรนั้นสามารถทำให้ผลที่ได้เปลี่ยนแปลงไปมาก

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

โดยเวลาในการทำงานของนาฬิกานั้นขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ (Capacitive) ซึ่งในการใช้งานจริงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ซึ่งต้องมีการวิจัยต่อไปเพื่อพัฒนาให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และพลังงานที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับร่างกายมนุษย์หรือจะเป็นระบบเครือข่ายสัมผัส (Body Area Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมออกแบบและโปรแกรมควบคุม

ก.1 โปรแกรม ANSYS

โปรแกรม ANSYS ที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ โดยผู้วิจัยได้จำลองการออกแบบการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความกว้าง โดยออกแบบให้เป็นแผ่นสแตนเลสสตีลยึดแบบ cantilever ให้มีความกว้าง 0.3, 0.4, 0.5 เซนติเมตร โดยโลหะความยาว 1.5 เซนติเมตรหนา 0.1 มิลลิเมตร โดยใส่แรงไว้ที่ปลาย 0.02 นิวตัน แล้วหาค่าการกระจัดโดยเขียนโค้ดโปรแกรมดังต่อไปนี้

โค้ดหาค่าการกระจัดของแผ่นโลหะสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 0.3 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตรหนา 0.1 มิลลิเมตร

```
!Stainless Steel dimension
tsi=100e-6 ! Stainless Steellayer thickness
wsi=0.3e-2 ! Stainless Steellayer width
lsi=2e-2 ! Stainless Steel layer length
element_size=500e-6 ! Define element size for meshing
|*****|
/PREP7
/COM,----- Stainless Steel layer material properties (material 1)
! Finite element analysis of piezoelectric actuator with PMN-PT single crystals for
nanopositioning
! Current Applied Physics
ET,1,SOLID45 ! Element type
MP,DENS,1,8000 ! Density
MP,NUXY,1,0.29 ! Poisson's ratio
MP,EX,1,200e9 ! Young's modulus
!Modeling
BLOCK,0,lsi,0,wsi,0,tsi ! Stainless Steel layer

!Meshing
ESIZE, element_size ! Element size for meshing
VSEL,s,loc,z,0,tsi
```

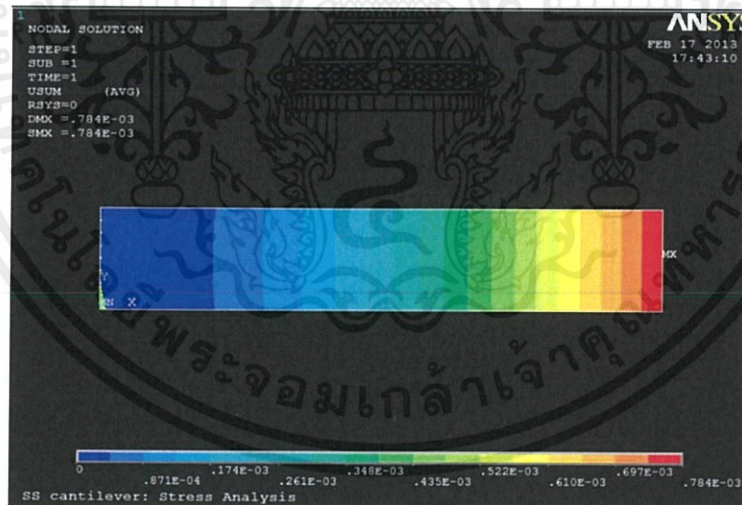
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TYPE,1
MAT,1
VMESH,all
Finish
/SOLU
! Static analysis
nset,s,loc,x,lsi           !Select nodes at the free end
nset,r,loc,y,ws1/2        !Reselect nodes at the middle
nset,r,loc,z,ts1         !Reselect nodes at the top
f,all,fz,-2e-2           !Apply displacement at selected nodes
nset,s,loc,x,0           !Select nodes at left end of cantilever
d,all,ux,,,,,uy,uz      !Clamp left end of cantilever
nset,all
solve
finish

```

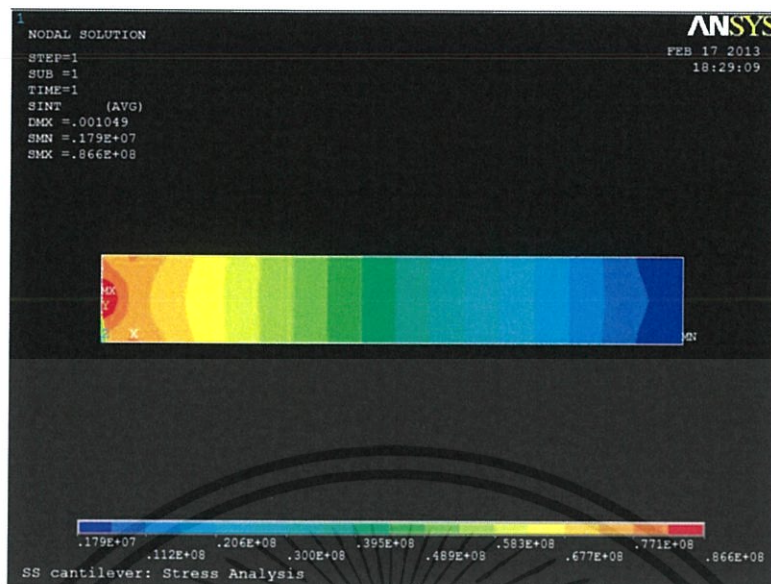
จะสามารถจำลองระยะเวลาการกระจัดได้ ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.3 เซนติเมตร

และจะสามารถจำลองความเครียดได้ ดังรูปที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.3 เซนติเมตร

โค้ดทำการกระจัดของแผ่นโลหะสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 0.4 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร

!Stainless Steel dimension

tsi=100e-6 ! Stainless Steel layer thickness

wsi=0.4e-2 ! Stainless Steel layer width

lsi=2e-2 ! Stainless Steel layer length

element_size=500e-6 ! Define element size for meshing

!*****

/PREP7

/COM,----- Stainless Steel layer material properties (material 1)

! Finite element analysis of piezoelectric actuator with PMN-PT single crystals for nanopositioning

! Current Applied Physics

ET,1,SOLID45 ! Element type

MP,DENS,1,8000 ! Density

MP,NUXY,1,0.29 ! Poisson's ratio

MP,EX,1,200e9 ! Young's modulus

!Modeling

BLOCK,0,lsi,0,wsi,0,tsi ! Stainless Steel layer

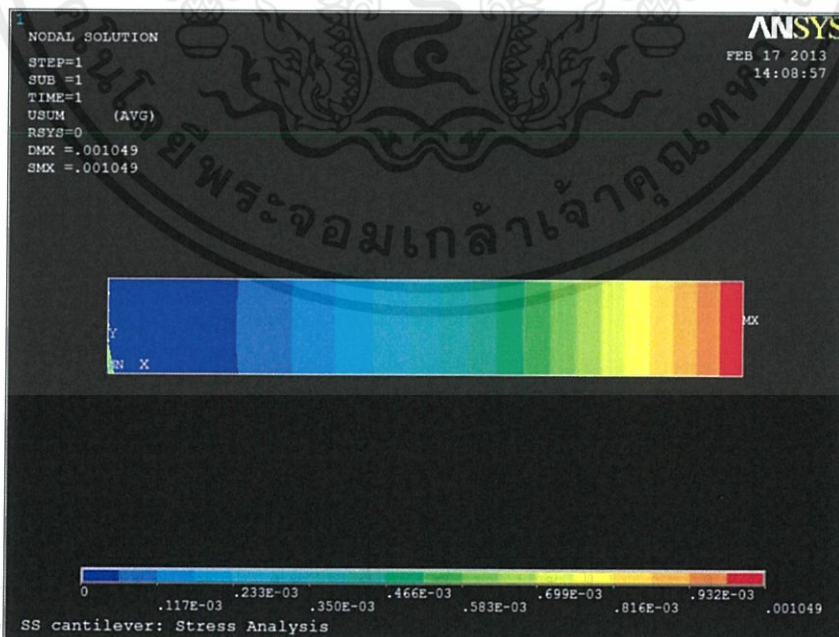
เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งาน! ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

!Meshing
ESIZE, element_size           ! Element size for meshing
VSEL,s,loc,z,0,tsi
TYPE,1
MAT,1
VMESH,all
Finish
/SOLU
! Static analysis
nset,s,loc,x,lsi              !Select nodes at the free end
nset,r,loc,y,ws1/2           !Reselect nodes at the middle
nset,r,loc,z,tsi            !Reselect nodes at the top
f,all,fz,-2e-2              !Apply displacement at selected nodes
nset,s,loc,x,0              !Select nodes at left end of cantilever
d,all,ux,,,,,uy,uz         !Clamp left end of cantilever
nset,all
solve
finish

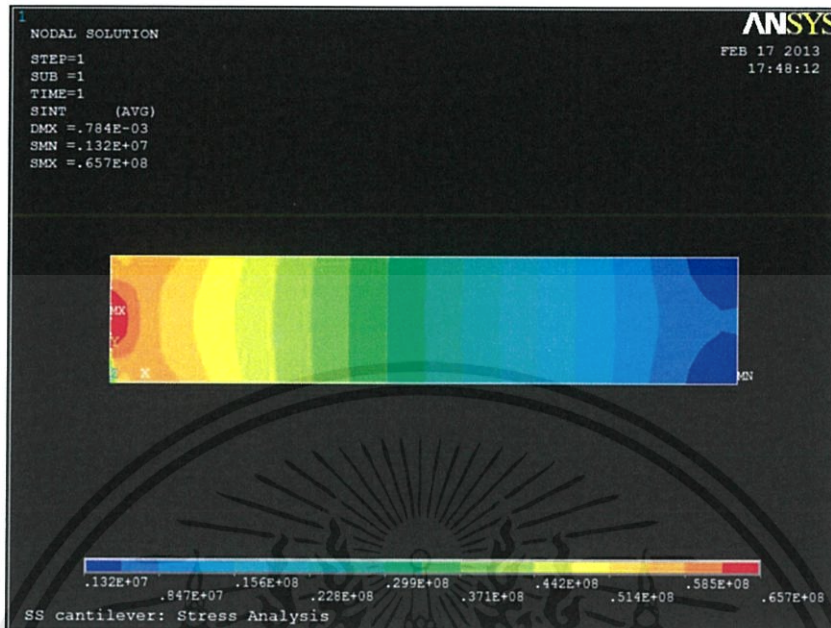
```

จะสามารถจำลองระยะการกระจัดได้ ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร

และจะสามารถจำลองความเครียดได้ ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 การจำลองความเครียดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร

โค้ดหาการกระจัดของแผ่นโลหะสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตรหนา 0.1 มิลลิเมตร

!Stainless Steel dimension

t_{si}=100e-6

! Stainless Steel layer thickness

w_{si}=0.5e-2

! Stainless Steel layer width

l_{si}=2e-2

! Stainless Steel layer length

element_size=500e-6

! Define element size for meshing

!*****

/PREP7

/COM,----- Stainless Steel layer material properties (material 1)

! Finite element analysis of piezoelectric actuator with PMN-P1 single crystals for nanopositioning

! Current Applied Physics

ET,1,SOLID45

! Element type

MP,DENS,1,8000

! Density

MP,NUXY,1,0.29

! Poisson's ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้าหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

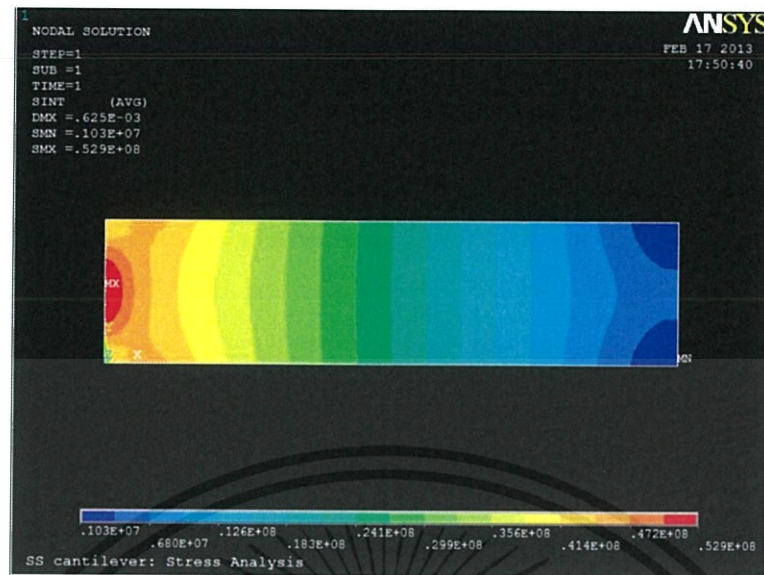
MP,EX,1,200e9                ! Young's modulus
!Modeling
BLOCK,0,lsi,0,lsi,0,tsi      ! Stainless Steel layer

!Meshing
ESIZE, element_size         ! Element size for meshing
VSEL,s,loc,z,0,tsi
TYPE,1
MAT,1
VMESH,all
Finish
/SOLU
! Static analysis
nselect,s,loc,x,lsi          !Select nodes at the free end
nselect,r,loc,y,lsi/2        !Reselect nodes at the middle
nselect,r,loc,z,tsi         !Reselect nodes at the top
f,all,fz,-2e-2              !Apply displacement at selected nodes
nselect,s,loc,x,0           !Select nodes at left end of cantilever
d,all,ux,,,,,uy,uz         !Clamp left end of cantilever
nselect,all
solve
finish

```

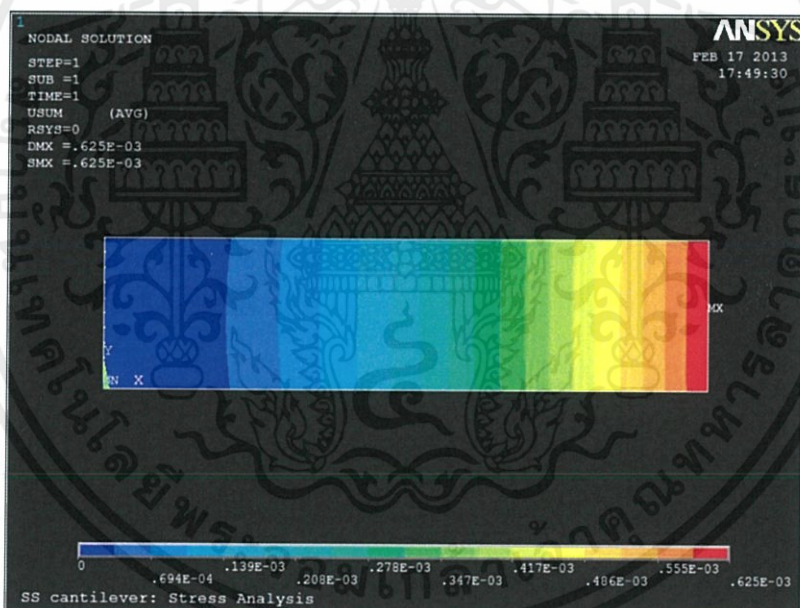
จะสามารถจำลองระยะการกระจัดได้ ดังรูปที่ ก.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร

และจะสามารถจำลองความเครียดได้ ดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร

ได้จากการกระจัดของแผ่นโลหะสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้ Stainless Steel dimension เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา! Stainless Steel layer thickness ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $w_{si}=0.5e-2$! Stainless Steel layer width

```

! Stainless Steel layer length
ls1=1e-2
! Define element size for meshing
element_size=500e-6

!*****

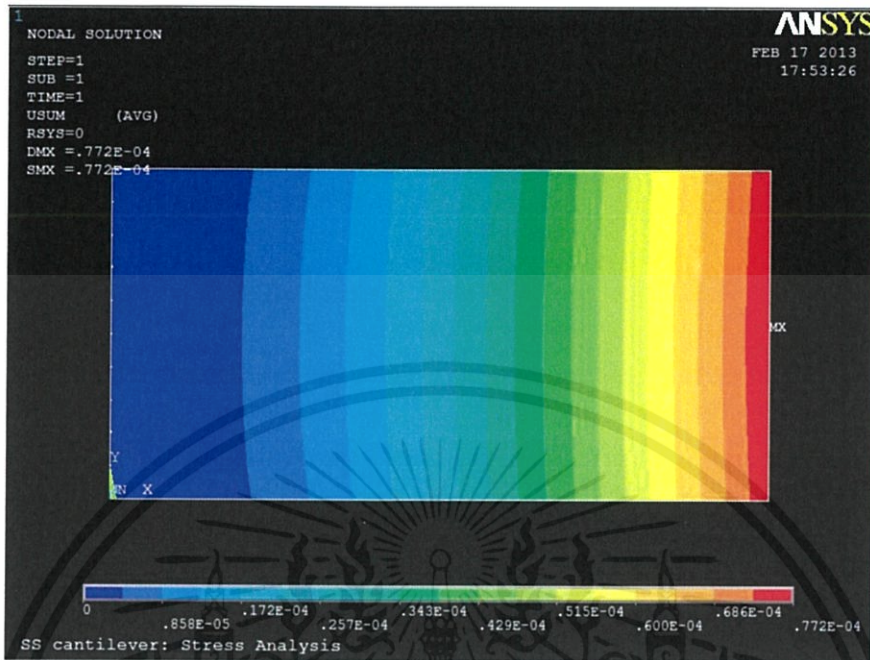
/PRFP7
/COM,----- Stainless Steel layer material properties (material 1)
! Finite element analysis of piezoelectric actuator with PMN-PT single crystals for
nanopositioning
! Current Applied Physics
ET,1,SOLID45 ! Element type
MP,DENS,1,8000 ! Density
MP,NUXY,1,0.29 ! Poisson's ratio
MP,EX,1,200e9 ! Young's modulus
!Modeling
BLOCK,0,ls1,0,ws1,0,ts1 ! Stainless Steel layer

!Meshing
ESIZE, element_size ! Element size for meshing
VSEL,s,loc,z,0,ts1
TYPE,1
MAT,1
VMESH,all
Finish
/SOLU
! Static analysis
nselect,s,loc,x,ls1 !Select nodes at the free end
nselect,r,loc,y,ws1/2 !Reselect nodes at the middle
nselect,r,loc,z,ts1 !Reselect nodes at the top
f,all,fz,-2e-2 !Apply displacement at selected nodes
nselect,s,loc,x,0 !Select nodes at left end of cantilever
d,all,ux,,,,,uy,uz !Clamp left end of cantilever
nselect,all
solve
finish

```

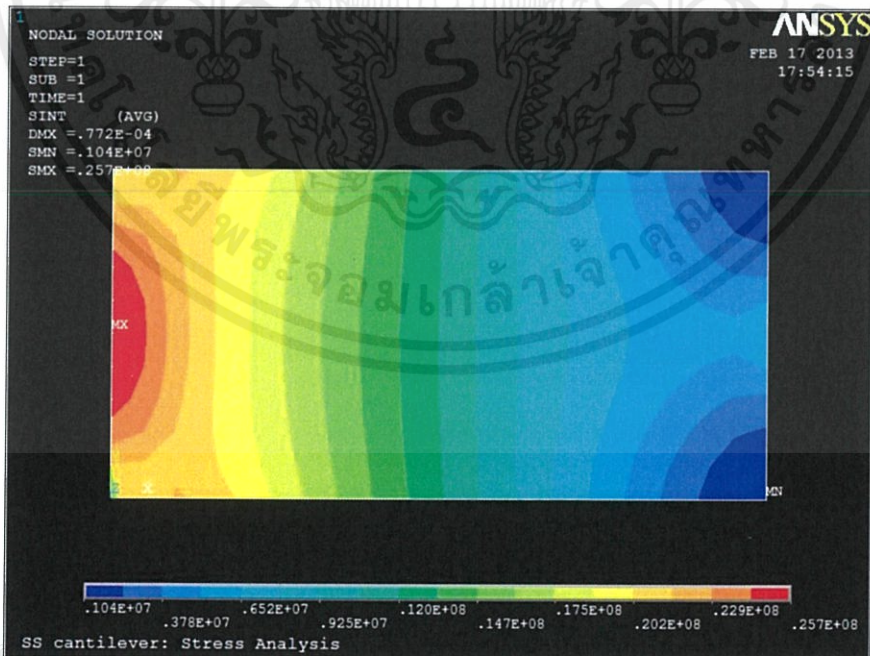
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถจำลองระยะการกระจัดได้ ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 1 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร

และจะสามารถจำลองความเค้นได้ ดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 1 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร

ได้ทำการกระจัดของแผ่นโลหะสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตรหนา 0.1 มิลลิเมตร

!Stainless Steel dimension

tsi=100e-6 ! Stainless Steel layer thickness
 wsi=0.5e-2 ! Stainless Steel layer width
 lsi=1.5e-2 ! Stainless Steel layer length
 element_size=500e-6 ! Define element size for meshing

!*****

/PREP7

/COM,----- Stainless Steel layer material properties (material 1)

! Finite element analysis of piezoelectric actuator with PMN-PT single crystals for nanopositioning

! Current Applied Physics

ET,1,SOLID45 ! Element type
 MP,DENS,1,8000 ! Density
 MP,NUXY,1,0.29 ! Poisson's ratio
 MP,EX,1,200e9 ! Young's modulus

!Modeling

BLOCK,0,lsi,0,wsj,0,tsi ! Stainless Steel layer

!Meshing

ESIZE, element_size ! Element size for meshing

VSEL,s,loc,z,0,tsi

TYPE,1

MAT,1

VMESH,all

Finish

/SOLU

! Static analysis

nset,s,loc,x,lsi !Select nodes at the free end

nset,r,loc,y,wsj/2 !Reselect nodes at the middle

nset,r,loc,z,tsi !Reselect nodes at the top

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f,all,fz,-2e-2

!Apply displacement at selected nodes

nselect,s,loc,x,0

!Select nodes at left end of cantilever

d,all,ux,,,,,uy,uz

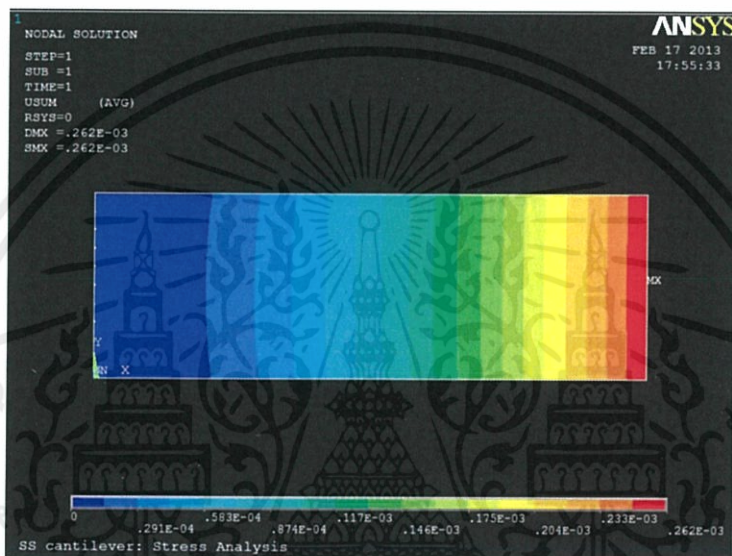
!Clamp left end of cantilever

nselect,all

solve

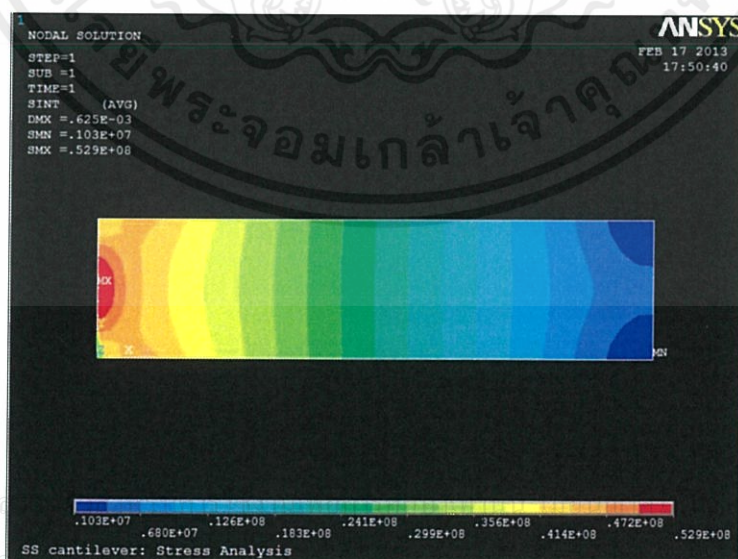
finish

จะสามารถจำลองระยะการกระจัดได้ ดังรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 การจำลองการกระจัดของแผ่นโลหะยาว 1.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร

จะสามารถจำลองความเค้นได้ ดังรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 การจำลองความเค้นของแผ่นโลหะยาว 1.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น

ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รังที่มีการนำไปใช้

ก.2 โปรแกรม Arduino

โปรแกรม Arduino เป็นโปรแกรม ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยในการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละการทดลองใช้โค้ดที่ควบคุมมอเตอร์ต่างกันออกไปดังนี้

ก.2.1 โค้ดควบคุมมอเตอร์ในการทดลองการวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป

โดยที่สเตปมอเตอร์ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้หมุนด้วยความเร็ว 2 Hz สั่งการให้หมุน 360° ไปกลับเป็นคาบ โดยสามารถเขียนโค้ด ได้ดังนี้

```
int motorPin1 = 8;
int motorPin2 = 9;
int motorPin3 = 10;
int motorPin4 = 11;
int delayTime = 30;
int a=12; //a= Loop Number ;Loop Number have 30 degree/Loop
void setup() {
  pinMode(motorPin1, OUTPUT);
  pinMode(motorPin2, OUTPUT);
  pinMode(motorPin3, OUTPUT);
  pinMode(motorPin4, OUTPUT);
}
void loop() {
  //forward
  for(int i=0;i<=(a-1);i++)
  {
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, HIGH);
    digitalWrite(motorPin4, LOW);
    delay(delayTime);
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
```

```

digitalWrite(motorPin3, LOW);
digitalWrite(motorPin4, HIGH);
delay(delayTime);
digitalWrite(motorPin1, HIGH);
digitalWrite(motorPin2, LOW);
digitalWrite(motorPin3, LOW);
digitalWrite(motorPin4, LOW);
delay(delayTime);
digitalWrite(motorPin1, LOW);
digitalWrite(motorPin2, HIGH);
digitalWrite(motorPin3, LOW);
digitalWrite(motorPin4, LOW);
delay(delayTime);
}
//Backword
delay(100)

```

ก.2.2 โค้ดควบคุมมอเตอร์ในการทดลองการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

โดยที่สเตปมอเตอร์ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้หมุนด้วยความเร็ว 2 Hz สั่งการให้หมุน 360° ไปกลับเป็นคาบ โดยสามารถเขียนโค้ด ได้ดังนี้

```

int motorPin3 = 10;
int motorPin4 = 11;
int delayTime = 12;
int a=12; //a= Loop Number ;Loop Number have 30 degree/Loop
void setup() {
pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);
pinMode(motorPin3, OUTPUT);
pinMode(motorPin4, OUTPUT);
}
void loop() {
//forword

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(int i=0;i<=(a-1);i++)  
{  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, HIGH);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข.5 เอกสารคู่มือการใช้งาน แผ่นเพียโซอิเล็กทริก

**PIEZO SYSTEMS, INC.**

65 Tower Office Park
Woburn, MA 01801
Tel (781) 933-4850 • Fax (781) 933-4743

Material Safety Data Sheet (MSDS)

PSI-5A4E Piezoceramic Material

Company Name: Piezo Systems, Inc.
Address: 65 Tower Office Park
Woburn, Massachusetts 01801 USA
Information Telephone Number: (781) 933-4850
Emergency Telephone Number: (781) 933-4743 (ask for Safety Director)

Identification:

Chemical Family: Ceramic Materials
Formula: Proprietary

Physical Data:

Form: Solid Ceramic Material
Appearance: Yellow - White
Odor: None
Solubility in Water: Insoluble

Components:

Material	Percent %	CAS #
Lead Oxide	60-70	1306-60-0
Zirconium Oxide	20-25	1314-23-4
Titanium Oxide	10-15	13463-67-7
Lanthanum Oxide	2-4	1312-81-8

Hazards/Reactivity:

Instability: This product is normally stable
Incompatibility: None
Polymerization: This product does not normally polymerize significantly

Fire & Explosion Data:

Flash Point: None; solid material
Fire & Explosion Hazards: None, nonflammable

Health Hazard Information:

The primary route of entry is either by inhalation or ingestion. This material can be in the form of a powder or solid. If inhaled or ingested the toxicology of lead predominates. This includes the potential for damage to the kidneys, blood forming organs as well as the reproductive system and the nervous system. Ingestion can cause vomiting, diarrhea, nausea and abdominal pain. Inhalation may cause irritation of the nose and throat, cough, dyspnea, chest pains, fever and chills.

PIEZO SYSTEMS, INC. 3/9/2006

MSDS/PSI-5A4E Page-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material Safety Data Sheet (MSDS)

PSI-5A4E Piezoceramic Material

Acute lead poisoning can lead to a condition called acute encephalopathy, which may rapidly develop into seizures, coma and eventually death.

Exposure Limits:

<u>Material Name:</u>	<u>OSHA PEL (mg/m3)</u>	<u>ACGIH TLV (mg/m3)</u>
Lead	0.05	0.05
Zirconium	5.0	5.0
Titanium	15.0 (respirable dust)	10.0
Lanthanum	15.0 (respirable dust)	10.0

First Aid Instructions:

Ingestion: If conscious, induce vomiting.
 Inhalation: Remove to fresh air and if breathing is difficult give oxygen.
 Skin Contact: Wash thoroughly.
 Eye Contact: Flush with plenty of water for 15 minutes.
 In all cases seek appropriate medical advice & treatment.

Personal Protection Information:

Respiratory Protection: Selection of a suitable respirator will depend on the properties of the contaminant(s) and their actual or expected air concentration(s) versus applicable limits. Consult ANSI Standard Z88.2 for decision logic to select appropriate NIOSH/MSHA approved respirators. If respirators are needed to meet applicable limits a respiratory protection program in accordance with OSHA Standard 29 CFR 1910.134 is mandatory. This includes monitoring, selection, medical approval, training, fit testing, inspection, maintenance, storage, etc.

Gloves: Gloves should be used when the possibility of skin contact exists. The suitability of a particular glove and glove material should be determined as part of an overall glove personal protection program. Considerations should include chemical breakthrough time, permeation rate; abrasion, cut and puncture resistance; and duration of contact, etc. Recommended glove material: Latex.

Other personal protection practices: Appropriate eye protection such as safety glasses should be used where the possibility of eye contact exists. Protective outer clothing should be used where the possibility of body contact exists. Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace. Smoking or the consumption of food or beverages should be prohibited where the material is handled or stored. After handling this material wash hands thoroughly before leaving the work area.

Additional Engineering Controls: Local exhaust ventilation is recommended where an airborne dust or powder is generated. Work practices and training may be required depending on the exposure level. Many of these points are discussed in the OSHA Respiratory Protection Standard (29 CFR 1910.134), the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200) and the OSHA Lead Standard (29 CFR 910.1025).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material Safety Data Sheet (MSDS)

PSI-5A4E Piezoceramic Material

Disposal Information:

Contaminated items: Empty product containers, contaminated clothing and cleaning materials, etc. should be considered hazardous until decontaminated or properly disposed of. Dispose of waste in accordance with federal, state and local regulations. Typically defined as a hazardous waste by EPA.

Storage Information:

Store in tightly closed containers. Label with name of contents and hazard warnings.

Regulatory Information:

This material is listed on EPA's TSCA inventory. Lead is regulated under EPA's SARA Regulations.



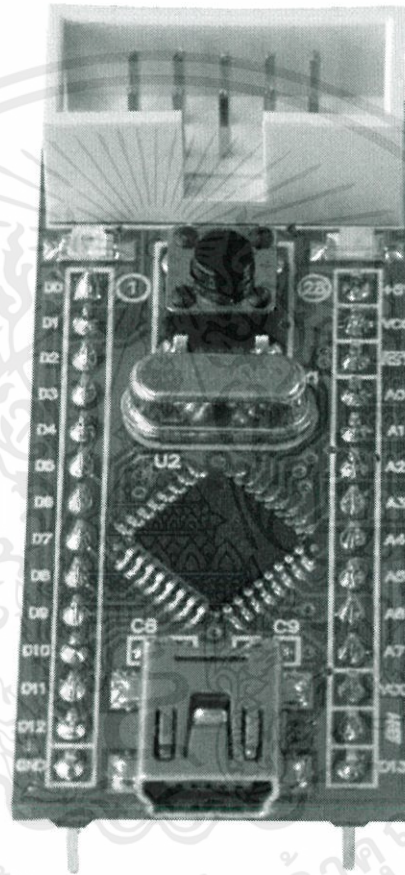
ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน ET-Easy168 STAMP

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-Easy168 STAMP เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY168 STAMP

ETT

ET-EASY168 STAMP



รูปแสดงโครงสร้างของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

ETT CO.,LTD

-1-

WWW.ETT.CO.TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

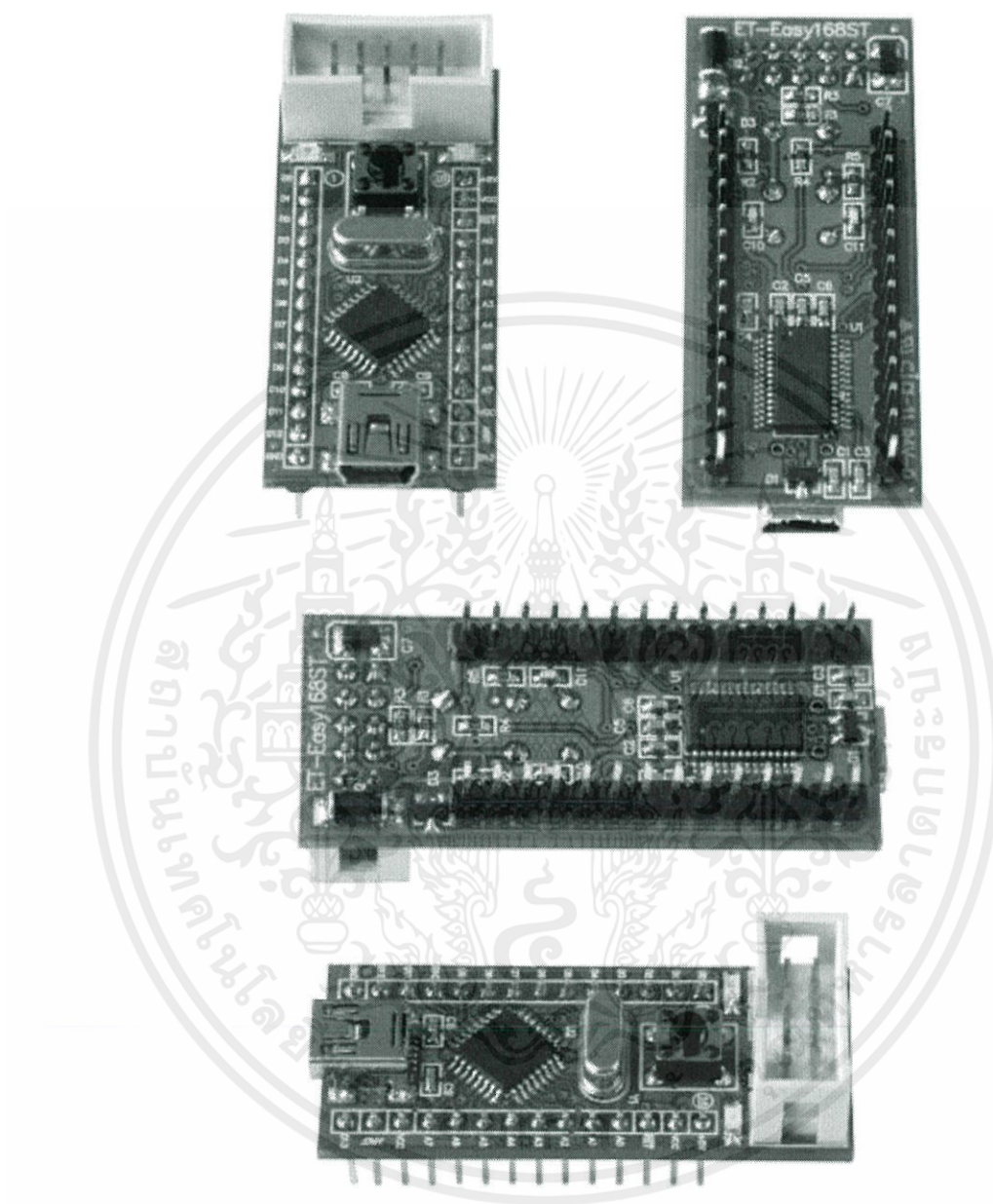
ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว โดยมีขนาดของบอร์ดเพียง 2cm x 5cm เท่านั้น ซึ่งขนาดบอร์ด ประมาณเท่ากับตัวถังของไอซี 28 DIP 300 โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้ MCU ที่มีรูปร่างตัวถังแบบ 32 TQFP พร้อมวงจรรอบนอกที่จำเป็นอย่าง Oscillator และ Reset รวมไว้ด้วยภายในบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง

ทำให้บอร์ด ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดขนาดเล็กที่เทียบพริ้มไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 อย่างแท้จริง เพียงแค่เสียบสาย USB จากพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับหัว USB ของบอร์ด ET-EASY168 STAMP ก็สามารถทำการเขียนโปรแกรม และ Download Code ให้กับ MCU เพื่อทำการทดลองได้ทันที

คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
 - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16KByte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
 - มี SRAM ใช้งานขนาด 1KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
 - มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
 - Digital GPIO จำนวน 14 บิต
 - Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 8 ช่อง
- ใช้งานกับแหล่งไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USB และจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
- มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
- หัวต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54mm(100mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ 14Pin) ระยะห่าง 600mil(1.5cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และขยายวงจร I/O สามารถใช้กับ Project Board และ PCB เหนียวประสงค์ได้โดยง่าย
- มีหัวต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
- มีหัว AVRISP แบบ IDE 10PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ดในกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
- มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

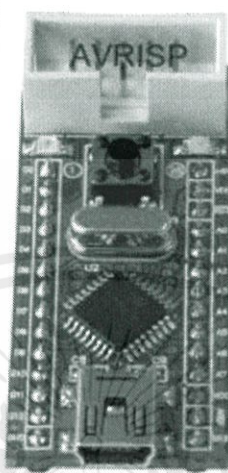


รูปแสดง ลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

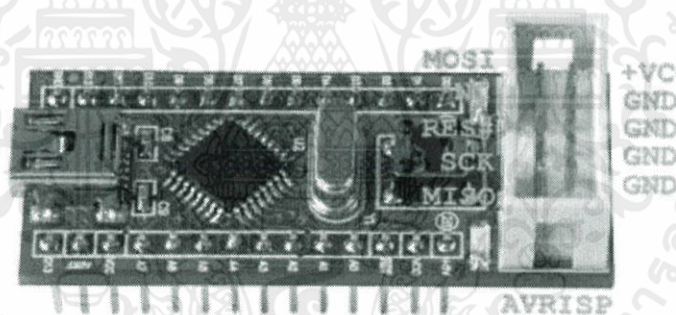
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-EASY168 STAMP

ETT

AVR	Arduino	Pin	ET-EASY168 STAMP	Pin	Arduino	AVR
PD0	Digital-0	1		28	+5V(+Vin)	+5V(+Vin)
PD1	Digital-1	2		27	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PD2	Digital-2	3		26	RESET#	RESET(PC6)
PD3	Digital-3	4		25	Analog-0	PC0/ADC0
PD4	Digital-4	5		24	Analog-1	PC1/ADC1
PD5	Digital-5	6		23	Analog-2	PC2/ADC2
PD6	Digital-6	7		22	Analog-3	PC3/ADC3
PD7	Digital-7	8		21	Analog-4	PC4/ADC4
PB0	Digital-8	9		20	Analog-5	PC5/ADC5
PB1	Digital-9	10		19	Analog-6	ADC6
PB2	Digital-10	11		18	Analog-7	ADC7
PB3	Digital-11	12		17	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
PB4	Digital-12	13		16	+AREF	+AREF
GND	GND	14		15	Digital-13	PB5

ตารางแสดง การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP



AVR	Arduino	Pin	AVRISP	Pin	Arduino	AVR
PB3	Digital-11	MOSI		+VCC	+VCC	+VCC
-	-	NC		GND	GND	GND
RES#	RES#	RES#		GND	GND	GND
PB5	Digital-13	SCK		GND	GND	GND
PB4	Digital-12	MISO		GND	GND	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ "Arduino Project"

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา +VUSB(+5V) จากหัว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic "0"
- Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- Analog[0..7] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ "AVR Micro Controller"

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา +VUSB(+5V) จากหัว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic "0"
- PB[0..5] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PD[0..7] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- PC[0..5] เป็นขา I/O ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง Digital และ Analog Input
- ADC6,ADC7 เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน สเต็ปมอเตอร์ ET-MINI SMCC-547

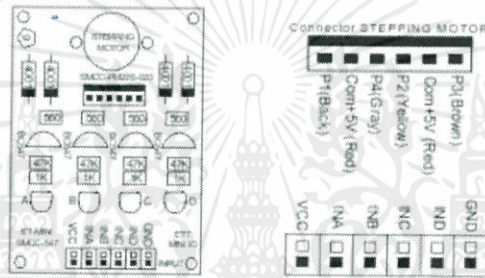
ดังนี้

สเต็ปมอเตอร์ ET-MINI SMCC-547 เป็นชุดขับ stepping motor โดยมีรายละเอียดต่างๆ

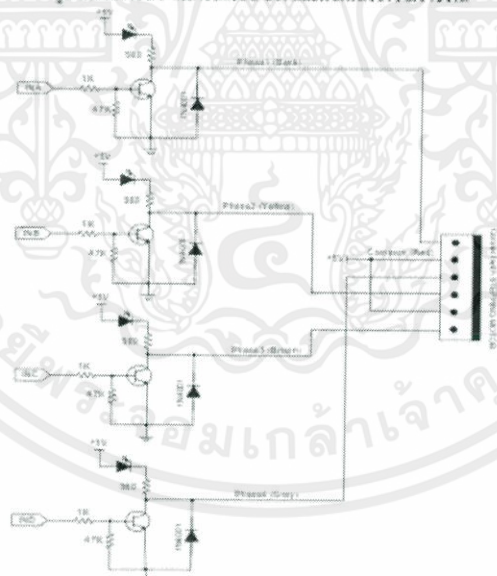
คู่มือ MODULE ET-MINI SMCC-547

ET-MINI SMCC-547

Module ET-MINI SMCC-547 เป็นชุดขับ STEPPING MOTOR ซึ่ง STEPPING ที่ใช้จะมีความละเอียดอยู่ที่ Step ละ 18 องศา ใช้ทรานซิสเตอร์ BC547 เป็นตัวขับ และใช้ LED แสดงผลการทำงานเมื่อมีการส่งออก "1" มาคอนโทรลในแต่ละเฟส LED ก็จะติดให้รู้ว่ามีเฟสไหนทำงานอยู่ โดยในการส่งออกนั้นจะต้องส่งเรียงสลับกันไปเรื่อยๆซึ่งเริ่มจากเฟสไหนก่อนก็ได้ ใน Module นี้จะมี Pin INA,INB,INC และIND ไว้ให้สำหรับต่อกับขา I/O ของ MCU เพื่อให้ MCU ส่งออก "1" มาทำการควบคุม Step การหมุนโดยเรียงเฟสไปตามลำดับ การจัดเรียงขาสัญญาณต่างๆจะแสดงดังรูปด้านล่าง ส่วน Vcc ที่ใช้จะเป็น 5 V ถ้าใช้ MCU ที่ใช้แรงดัน 3.3V จะต้องมีชุด Opio แปลงระดับลอจิกจาก 3V เป็น 5 V ด้วย



รูป โครงสร้าง ET-MINI SMCC-547 และตำแหน่ง Pin ใช้งาน



รูป วงจร ET-MINI SMCC-547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

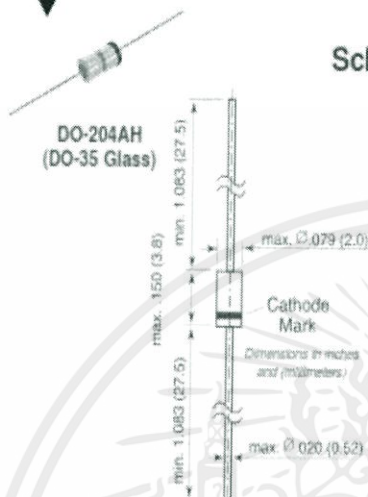
ข.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน ไดโอด BAT 46

ไดโอด BAT 46 เป็นไดโอดประเภทชอทกัไดโอด โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้


BAT46

 Vishay Semiconductors
 formerly General Semiconductor

Schottky Diode



Features

- For general purpose applications.
- This diode features very low turn-on voltage and fast switching. This device is protected by a PN junction guard ring against excessive voltage, such as electrostatic discharges.
- This diode is also available in the SOD-123 case with type designation BAT46W and in the MiniMELF case with type designations LL46.

Mechanical Data

Case: DO-35 Glass Case

Weight: approx. 0.13g

Packaging Codes/Options:

D7/10K per 13' reel (52mm tape), 20K/box

D8/10K per Ammo tape (52mm tape), 20K/box

Maximum Ratings & Thermal Characteristics

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Value	Unit
Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	100	V
Forward Continuous Current at $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$	I_F	150 ⁽¹⁾	mA
Repetitive Peak Forward Current at $t_p < 1\mu\text{s}$, $\delta < 0.5$, $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$	I_{FRM}	350 ⁽¹⁾	mA
Surge Forward Current at $t_p < 10\text{ms}$, $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$	I_{FSM}	750 ⁽¹⁾	mA
Power Dissipation ⁽¹⁾ at $T_{amb} = 65^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	150 ⁽¹⁾	mW
Thermal Resistance Junction to Ambient Air	$R_{\theta JA}$	0.3 ⁽¹⁾	$^{\circ}\text{C}/\text{mW}$
Junction Temperature	T_j	125	$^{\circ}\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	T_{amb}	-65 to +125	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	T_S	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

Electrical Characteristics ($T_j = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Breakdown Voltage	$V_{BR,R}$	$I_R = 100\mu\text{A}$ (pulsed)	100	—	—	V
Leakage Current Pulse Test $t_p < 300\mu\text{s}$, $\delta < 2\%$	I_R	$V_R = 1.5\text{V}$	—	—	0.5	μA
		$V_R = 1.5\text{V}$, $T_j = 60^{\circ}\text{C}$	—	—	5	
		$V_R = 10\text{V}$	—	—	0.8	
		$V_R = 10\text{V}$, $T_j = 60^{\circ}\text{C}$	—	—	7.5	
		$V_R = 50\text{V}$	—	—	2	
		$V_R = 50\text{V}$, $T_j = 60^{\circ}\text{C}$	—	—	15	
Forward Voltage Pulse Test $t_p < 300\mu\text{s}$, $\delta < 2\%$	V_F	$I_F = 0.1\text{mA}$	—	—	0.25	V
		$I_F = 10\text{mA}$	—	—	0.45	
		$I_F = 250\text{mA}$	—	—	1	
Capacitance	C_{tot}	$V_R = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$	—	10	—	pF
		$V_R = 1\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$	—	6	—	

Note: (1) Valid provided that leads at a distance of 4mm from case are kept at ambient temperature

 Document Number 88133
 10-May-92

www.vishay.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 เอกสารคู่มือการใช้งาน ไอซี max 663

ไอซี max 663 เป็นไอซีที่ใช้เป็น วงจรคงค่าระดับแรงดัน มีรายละเอียดต่างๆดังนี้

MAX663 最大集成电子器

19-0921 Rev 1, 7/06

MAXIM

Dual Mode™ 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

General Description

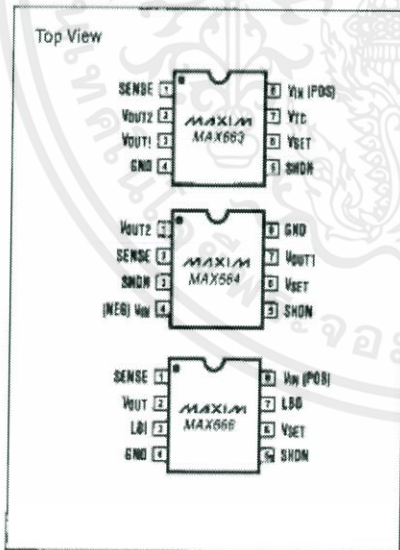
The MAX663/664/666 CMOS voltage regulators have a maximum quiescent current of 12µA. They can be used either as 5 volt, fixed output regulators with no additional components, or can be adjusted from 1.3V to 16V using two external resistors. Fixed or adjustable operation is automatically selected via the V_{SET} input. The MAX66X series, ideally suited for battery powered systems, has an input voltage range of 2 to 16.5V, an output current capability of 40mA, and can operate with low input-output differentials. Other features include current limiting and low power shut down.

The MAX663 positive regulator and MAX664 negative regulator are both pin and electrically compatible with the ICL7663 and ICL7664 and can plug-in replace these devices, improving performance and eliminating the need for external resistors in 5V applications. The MAX666 has a positive output and includes on-chip low-battery detection circuitry.

Applications

- Handheld Instruments
- LCD Display Systems
- Pagers
- Remote Data Acquisition and Telemetry
- Radio Controlled Devices
- Long-life Battery Powered Systems

Pin Configuration



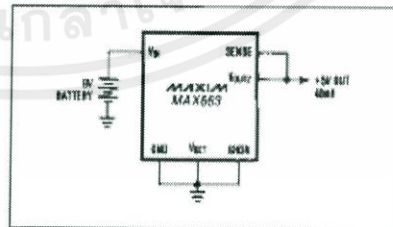
Features

- ◆ Dual Mode Operation: Fixed +5V or Adjustable from +1.3V to +16V
- ◆ Low Power CMOS: 12µA Max Quiescent Current
- ◆ 40mA Output Current, with Current Limiting
- ◆ Pin-Compatible Upgrade of ICL7663 and ICL7664
- ◆ +2V to +16.5V Operating Range
- ◆ Low Battery Detector (MAX666)
- ◆ No Output Over-Shoot on Power Up

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX663C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX663CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX663CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX663EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX663ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX663MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP
MAX664C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX664CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX664CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX664EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX664ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX664MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP
MAX666C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX666CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX666CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX666EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX666ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX666MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP

Typical Operating Circuit



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

MAX663 and MAX666	
Input Supply Voltage	-18V
Terminal Voltage	
Pins 1,3,5,6, MAX663 — Pin 7	
and MAX666 — Pin 2	GND -0.3V to $V_{IN} + 0.3V$
MAX663 — Pin 2	GND -0.3V to $V_{OUT1} + 0.3V$
MAX666 — Pin 7	GND -0.3V to +16.5V
Output Source Current	
MAX663/666 — Pin 2 (V_{OUT1} , V_{OUT})	50mA
MAX663 — Pin 3 (V_{OUT1})	25mA
Output Sink Current, Pin 7	-20mA

MAX664	
Input Supply Voltage	18V
Terminal Voltage	
Pins 1,3,5,6,7	$V_{IN} - 0.3V$ to GND +0.3V
Pin 2	$V_{IN} - 0.3V$ to $V_{OUT1} + 0.3V$
Output Sink Current, (Pins 1,7)	-25mA

ALL DEVICES

Power Dissipation	
Plastic DIP (Derate 6.3mW/°C above +50°C)	625mW
Small Outline (Derate 6mW/°C above +50°C)	450mW
CERDIP (Derate 8mW/°C above +50°C)	800mW
Operating Temperature Range	
MAX663C	0°C to +70°C
MAX663E	40°C to +85°C
MAX663M	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10 seconds)	+300°C

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, MAX663 AND MAX666

($V_{IN} = +9V$, $V_{OUT} = +5V$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Voltage	V_{IN}	Over Temperature (C) Over Temperature (E, M)	2.0 2.2		16.5	V
Quiescent Current	I_Q	No Load, $V_{IN} = +16.5V$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ Over Temperature (C) Over Temperature (E, M)		6 12 15 20		μA
Output Voltage	V_{OUT}	$V_{SET} = \text{GND}$ Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)	4.75 4.5	5.0 5.0	5.25 5.5	V
Line Regulation	$\Delta V_{OUT} / \Delta V_{IN}$	$+2V \leq V_{IN} \leq +15V$, $V_{OUT} = V_{SET}$		0.03	0.05	%/V
Load Regulation	$\Delta V_{OUT} / \Delta I_{OUT}$	MAX663: $1\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 25\text{mA}$ MAX666: $50\mu\text{A} \leq I_{OUT} \leq 5\text{mA}$ MAX666: $1\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 25\text{mA}$		3.0 1.0 3.0	7.0 5.0 7.0	Ω
Reference Voltage	V_{SET}	$V_{OUT} = V_{SET}$	1.27		1.33	V
Reference Tempco.	$\Delta V_{SET} / \Delta T$	Over Temperature		±100		ppm/°C
V_{SET} Internal Threshold for Fixed +5V or Adjustable Output	V_{FK}	$V_{SET} \leq V_{FK}$ for +5V Out $V_{SET} > V_{FK}$ for Adjustable Out		50		mV
V_{SET} Input Current	I_{SET}	Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)		±0.01	±25	nA
Shutdown Input Voltage	V_{SDIN}	$V_{SDIN} = \text{HI}$ - Output Off $V_{SDIN} = \text{LO}$ - Output On	1.4		0.3	V
Shutdown Input Current	I_{SDIN}			±0.01	±10	nA
SENSE Input Threshold	$V_{OUT} - V_{SENSE}$	Current Limit Threshold		0.5		V
SENSE Input Resistance	R_{SENSE}			3		M Ω
Input-Output Saturation Resistance, MAX663 - V_{OUT1}	R_{SAT}	$V_{IN} = +2V$, $I_{OUT} = 1\text{mA}$ $V_{IN} = -2V$, $I_{OUT} = 2\text{mA}$ $V_{IN} = +10V$, $I_{OUT} = 5\text{mA}$		200 70 50	500 150 150	Ω
Output Current, V_{OUT2} (V_{OUT} on MAX666)	I_{OUT}	+3V $\leq V_{IN} \leq +18.5V$ $V_{IN} = V_{OUT1} = +1.5V$	40			mA
Minimum Load Current	I_{MIN}	$T_A = +25^\circ\text{C}$ Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)			1.0 5.0 10.0	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, MAX663 AND MAX666 (continued)

($V_{IN} = +9V$, $V_{OUT} = +5V$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
LBI Input Threshold	V_{LBI}	MAX666	1.21	1.28	1.37	V
LBI Input Current	I_{LBI}	MAX666		± 0.01	± 10	nA
LBO Output Saturation Resistance	R_{SAT}	MAX666, $I_{SAT} = 2\text{mA}$		35	100	Ω
LBO Output Leakage Current		MAX666, LBI = -1.4V		10		nA
V_{TC} Open-Circuit Voltage (Note 1)	V_{TC}	MAX663		0.9		V
V_{TC} Sink Current (Note 1)	I_{TC}	MAX663		8.0	2.0	mA
V_{TC} Temperature Coefficient (Note 1)		MAX663		+2.6		mV/ $^\circ\text{C}$

Note 1: This output (MAX663 only) has a positive temperature coefficient. Using it in conjunction with the input of the regulator at V_{SET} , a negative coefficient results in the output voltage. The V_{TC} pin will not source current.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, MAX664

($V_{IN} = -9V$, $V_{OUT} = -5V$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

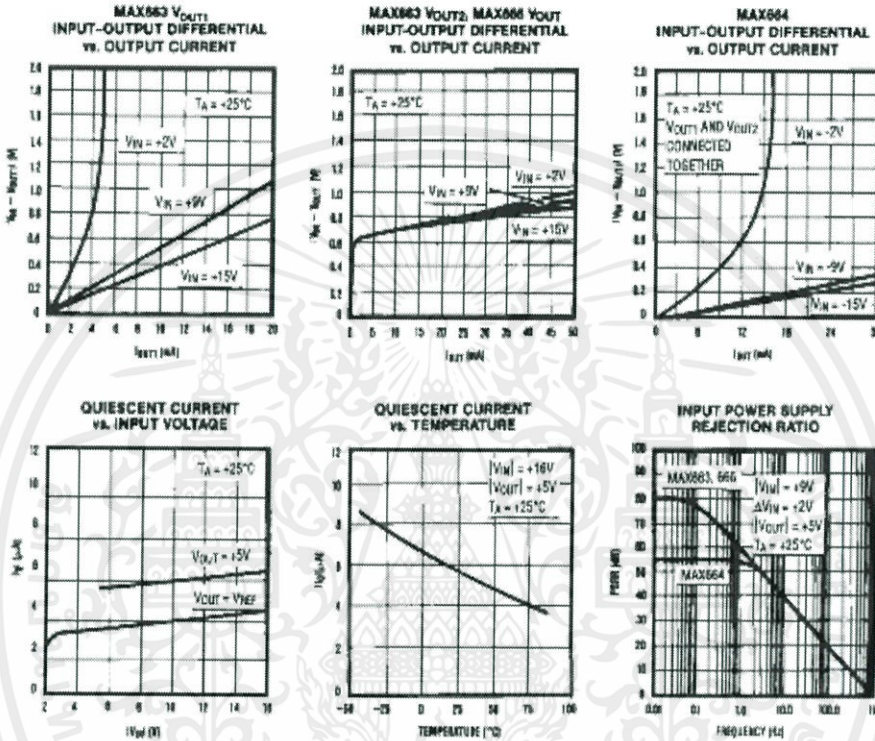
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Voltage	V_{IN}	Over Temperature (C) Over Temperature (E, M)	-2.0 -2.2		-16.5	V
Quiescent Current	I_Q	No Load, $V_{IN} = -18.5V$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ Over Temperature (C) Over Temperature (E, M)		6 12 15 20		μA
Output Voltage	V_{OUT}	$V_{SET} = \text{GND}$ Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)	-4.75 -4.5	-5.0 -5.0	-5.25 -5.5	V
Line Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta V_{IN}$	$-2V \leq V_{IN} \leq -15V$, $V_{OUT} = V_{REF}$		0.03	0.35	%/V
Load Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta I_{OUT}$	V_{OUT} connected to V_{OUT1} , $1\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 15\text{mA}$		2.0	5.0	Ω
Reference Voltage	V_{SET}	$V_{OUT} = V_{SET}$	-1.27		-1.33	V
Reference Tempco	$\Delta V_{SET}/\Delta T$	Over Temperature		± 100		ppm/ $^\circ\text{C}$
V_{SET} Internal Threshold for Fixed -5V or Adjustable Output Operation	V_{FIX}	$V_{SET} \leq V_{FIX}$ for -5V Out, $V_{SET} > V_{FIX}$ for Variable Out		-5.0		mV
V_{SET} Input Current	I_{SET}	Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)		± 0.01	± 10 ± 25	nA
Shutdown Input Voltage	V_{SHDN}	$V_{SHDN} \text{ HI} = \text{Output Off}$ $V_{SHDN} \text{ LO} = \text{Output On}$	-1.4		-0.3	V
Shutdown Input Current	I_{SHDN}			± 0.01	± 10	nA
SENSE Input Threshold	V_{OLT} , V_{REVSE}	Current Limit Threshold		-0.8		V
SENSE Input Resistance	R_{SENSE}			3		M Ω
Input-Output Saturation Resistance	R_{SAT}	V_{OUT2} connected to V_{OUT1} $V_{IN} = -2V$, $I_{OUT} = -1\text{mA}$ $V_{IN} = 9V$, $I_{OUT} = 2\text{mA}$ $V_{IN} = -15V$, $I_{OUT} = -5\text{mA}$		150 40 30	500 80 80	Ω
Minimum Load Current	I_{LMN}	$T_A = +25^\circ\text{C}$ Over Temperature (C, E) Over Temperature (M)			-1.0 -3.0 -10.0	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX663/MAX664/MAX666

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

Typical Operating Characteristics



Pin Description

NAME	FUNCTION (See text for details)
$V_{OUT1/OUT2}$	Regulator Output(s)
V_{IN}	Regulator Input
SENSE	Current limit sense input
LBI	Low battery detection input
LBO	Low battery detection output
SHUTDOWN	Disables output for minimum power consumption
V_{SET}	Ground this pin for 5V output or Connect to external resistive divider for adjustable output
V_{TC}	Temperature-proportional voltage for negative TC output

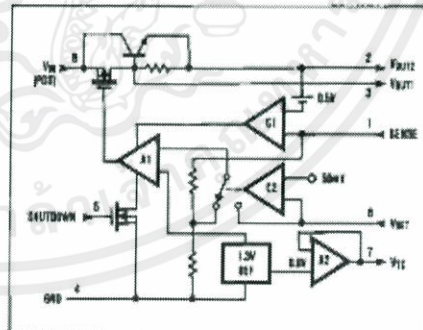


Figure 1. MAX663 Positive Regulator, Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

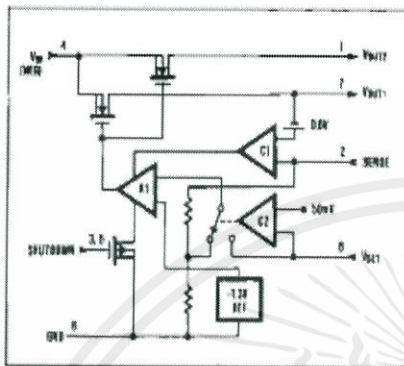


Figure 2. MAX664 Negative Regulator, Block Diagram

Detailed Description

As shown in the block diagrams for each device (Figures 1, 2, and 3), the main elements of the MAX66X family of regulators are a micropower bandgap reference, an error amplifier, and one or two series pass output devices. A P-channel FET and an NPN transistor are used on the MAX663, two N-channel FETs are used in the MAX664, and one NPN output transistor is used in the MAX666. All regulators also contain two comparators, one for current limiting (C1) and another which selects fixed 5V or adjustable output operation (C2).

The bandgap reference, which is trimmed to 1.30V \pm 30mV, is internally connected to one input of the error amplifier, A1. The feedback signal from the regulator output is supplied to the A1's other input by either an on-chip voltage divider or by two external resistors. When V_{SET} is grounded the internal divider provides the error amplifier's feedback signal for a fixed 5V output. When V_{SET} is more than 50mV above ground (below ground for the MAX664) the error amplifier's input is switched directly to the V_{SET} pin and external resistors set the output voltage.

Comparator C1 monitors the output current via the SENSE input and shuts down the regulator's output(s) by disabling A1. An external current sense resistor, R_{CL} , sets the limit value. The MAX663 and MAX666 current-limit when the voltage on R_{CL} exceeds 0.5V. The MAX664 current limits at 0.6V.

The MAX663 has an additional amplifier, A2, which provides a temperature-proportional output, V_{TC} . When this is summed into the inverting input of the error amplifier, a negative temperature coefficient results at the output. This is useful when powering liquid crystal displays over wide temperature ranges.

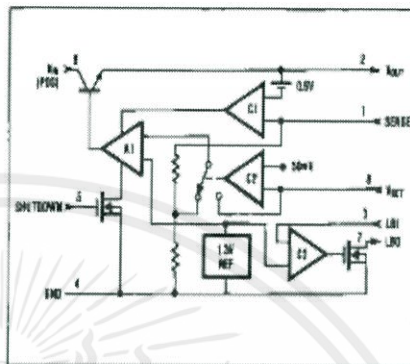


Figure 3. MAX666 Positive Regulator With Low Battery Detector, Block Diagram

The MAX666 has a third comparator, C3, which compares the LBI input to the internal 1.30V reference. The Low Battery Output, LBO, is an open drain FET connected to Ground. The Low Battery threshold can also be set with a voltage divider at LBI. In addition, all devices also have a SHUTDOWN input which disables the error amplifier and regulator output(s).

Basic Circuit Operation

Figure 4 shows the connections for fixed 5V output positive and negative regulators. The V_{SET} input is grounded and no external resistors are required. Figure 5 shows adjustable output operation with current limiting. The output voltage is set by $R1$ and $R2$ and the current limit threshold is set by R_{CL} . V_{OUT} should be connected to SENSE if current limiting is not used and the SHUTDOWN input should be grounded if not used.

Output Voltage Selection

If V_{SET} is not connected to Ground, the output voltage is set by the equation

$$V_{OUT} = V_{SET} \times \frac{R1 + R2}{R1}, \text{ where } V_{SET} = 1.30V$$

or, to simplify resistor selection:

$$R2 = R1 \times \left(\frac{V_{OUT}}{1.30V} - 1 \right)$$

Since the input bias current at V_{SET} has a maximum value of 10nA, relatively large values can be used for $R1$ and $R2$ with no loss of accuracy. 1M Ω is a typical value for $R1$. The tolerance on V_{SET} is guaranteed to be less than \pm 30mV. This allows the output to be preset without trim pots, using only fixed resistors in most cases.

MAX663/MAX664/MAX666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

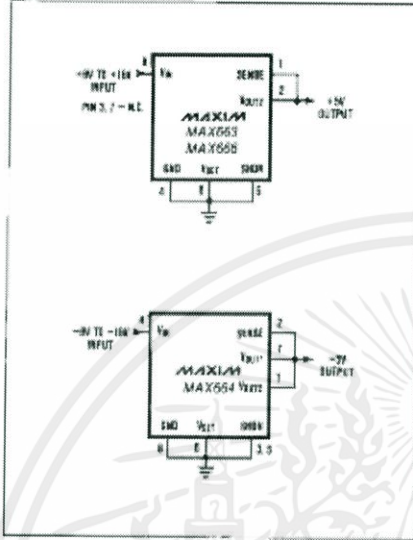


Figure 4. Connections for Fixed 5V Output

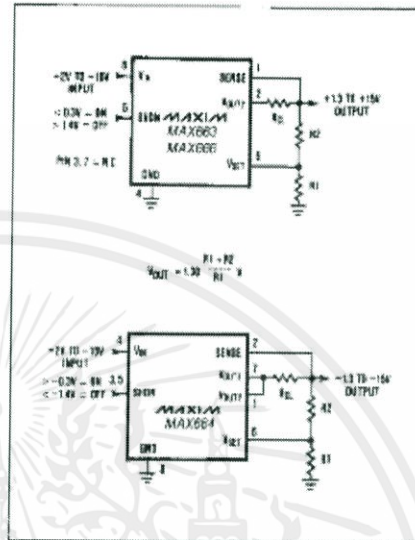


Figure 5. Connections for Adjustable Output

Current Limiting

Internal current limiting is activated on all MAX66X devices when the voltage difference between V_{OUT} and the SENSE input exceeds an internal threshold. The limit value is externally set by R_{CL} using the equation:

$$R_{CL} = \frac{V_{CL}}{I_{CL}} \quad \begin{array}{l} V_{CL} = 0.5V \text{ for MAX663 and MAX666} \\ V_{CL} = -0.6V \text{ for MAX664} \\ (V_{CL} = V_{OUT} - V_{SENSE}) \end{array}$$

where R_{CL} is the current limit sense resistor and I_{CL} is the maximum current. R_{CL} should be chosen so that neither the 50mA absolute maximum output current specification nor the maximum power dissipation is exceeded.

If current limiting is used, remember that the additional voltage drop across R_{CL} must be considered when determining the regulator's dropout voltage. If current limiting is not used, the SENSE input should be connected to the output(s).

Shutdown Input

The SHUTDOWN input allows the regulator to be turned off with a logic level signal. Since the current drain in shutdown mode is limited to the regulator's quiescent current (12µA Max) this is sometimes desirable in applications where very low power consumption is needed. The SHUTDOWN input

should be driven with a CMOS logic level since the input threshold is only 0.3V (-0.3V on the MAX664). In TTL systems, an open-collector driver with a pullup resistor will work with the MAX663/666 if a small collector current is used to keep the output's V_{SAT} below 0.3V. Collector currents as low as 1µA are suitable since the SHUTDOWN pin's input current is less than 10nA. Note that the MAX664's SHUTDOWN input is activated by a negative level. On both positive and negative regulators the SHUTDOWN input should be grounded for normal operation.

Low Battery Detection

The MAX666 contains on-chip circuitry for low battery or low power supply detection. If the voltage at LBI (Low Battery Input, pin 3) falls below the regulator's internal reference (1.30V) then LBO (Low Battery Output, pin 7), an open drain output, goes low. The threshold can be set to any level above the reference voltage by connecting a resistive divider to LBI (Figure 6) based on the equation:

$$R3 = R4 \times \left(\frac{V_{BATT}}{1.30V} - 1 \right)$$

where V_{BATT} is the desired threshold of the Low Battery Detector and $R3$ and $R4$ are the LBI input divider resistors. Since LBI's input current is no more than 10nA, then $R3$ and $R4$ can have high

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

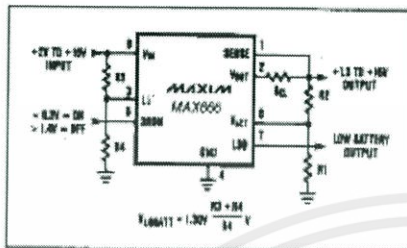


Figure 6. Adjustable Positive Output With Low Battery Detection

values to minimize loading. If, for example, V_{OUT} were 5V, then a 6V low-battery threshold could be set using 10M Ω for R3 and 2.7M Ω for R4. When megohm resistor values are used, special attention should be paid to PC board leakage which can introduce error at the LBI input.

Temperature-Proportional Output

The V_{TC} output (MAX663 only) has a positive temperature coefficient of about 42.5mV/°C. When connected to the summing junction of the error amplifier (V_{SET}) through a resistor, this positive coefficient results in a controllable negative temperature coefficient at the output of the MAX663. At 25°C the voltage at the V_{TC} output is typically 0.9V. Figure 7 shows a simplified diagram of the MAX663 and the equations for setting both the output voltage and the tempco when V_{TC} is used. When not used, V_{TC} should be left unconnected.

Negative output temperature coefficients are most commonly used in multiplexed LCD modules or display systems to compensate for the inherent negative tempco of the LCD threshold. Figure 8 shows a MAX663 generating a temperature compensated V_{DISP} for the Maxim ICM7233 triplexed LCD display driver.

Application Hints

Input-Output (Dropout) Voltage

A regulator's minimum input-output differential, or dropout voltage, determines the lowest usable input voltage. In battery powered systems this will determine the useful end-of-life battery voltage. The MAX663 and MAX666 have a dropout voltage of 1V at full output. This means that as 5V regulators, for example, they will provide a regulated 5V output at 40mA as long as the input voltage is 6V or greater.

For low current applications ($I_{OUT} < 5mA$) the MAX663 can operate with input-output differentials below 1V when V_{OUT1} is used. The dropout voltage will then depend on the P-channel output FET's saturation resistance multiplied by the load current (see MAX663 Electrical Specifications, R_{SAT}).

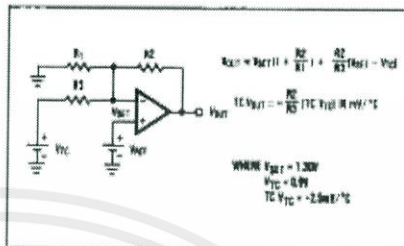


Figure 7. Temperature-Proportional Output Equations, MAX663

The MAX664 (negative output) uses two N-channel FETs as output devices so its dropout voltage is also a function of R_{SAT} times its load current (see Electrical Specifications).

Output Connections

When using V_{OUT1} on the MAX663 for low current, low dropout applications, V_{OUT2} and V_{OUT1} must be connected together since the current limit circuitry is referenced only to V_{OUT2} (Figure 1). V_{OUT2} does not supply load current in this configuration since the base of the NPN output transistor is shorted by the output connection. For high current operation V_{OUT2} should be used alone and V_{OUT1} should be left unconnected. V_{OUT1} is not provided on the MAX666. On the MAX664, V_{OUT1} and V_{OUT2} should always be connected together for proper operation and lowest dropout voltage.

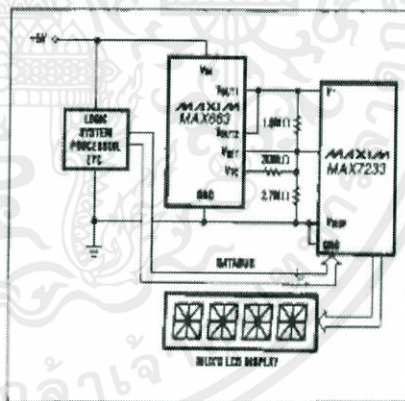


Figure 8. Driving a Multiplexed LCD Display. Consistent operation over more than 40°C temperature span, as opposed to about 10°C with fixed drive voltage, is allowed by negative temperature coefficient drive voltage to the displays. Based on EPSON LDB-728 Display or equivalent.

Dual Mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

MAX663/MAX664/MAX666

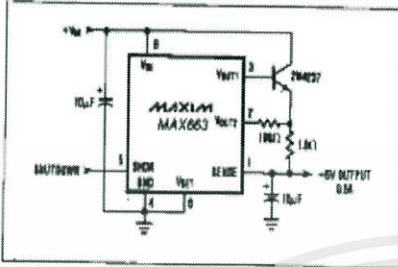


Figure 9. Positive Regulator With Boosted Output, Current Limit, and Low I_q Shutdown

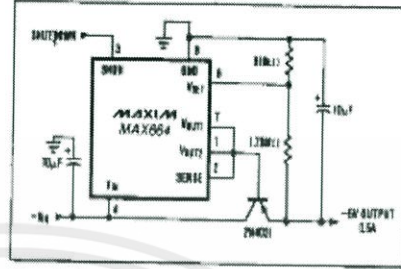


Figure 10. Negative Regulator With Boosted Output and Low I_q Shutdown

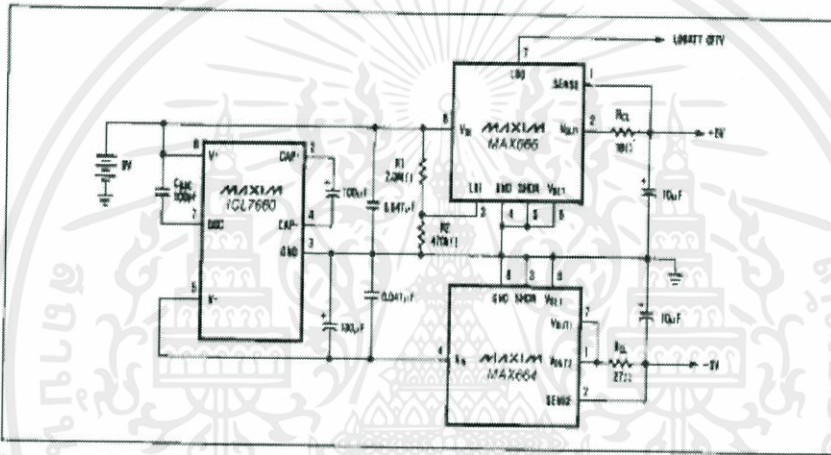


Figure 11. $\pm 5V$ Power Supply Using One 9V Battery

Bypass Capacitors

The MAX66X series of CMOS regulators is designed primarily for low quiescent current battery powered systems and has limited line and load regulation at frequencies above 10Hz. The high frequency performance is easily improved by adding an output filter capacitor across the load. 10 μ F is a good typical value. If high frequency performance is not an issue then an output bypass capacitor is not required.

In battery powered systems an input capacitor helps to reduce noise, improve dynamic performance, and reduce the input rate-of-rise at the regulator's input. In extreme cases excessive voltage rate-of-rise at the inputs of CMOS devices can cause SCR latch-up. The low impedance of Ni-Cad and Lead-Acid batteries make this possible when they are switched directly to the regulator input with no current limiting resistance, inductance, or input filtering. The addition of a 0.1 μ F or greater input capacitor limits the input rate-of-rise to a safe level.

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice of any kind.

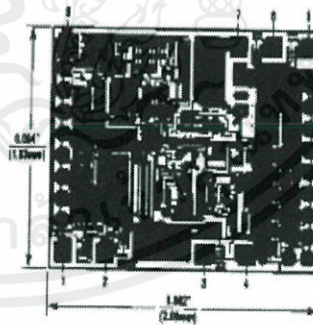
Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

© 1996 Maxim Integrated Products

Printed USA

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

Chip Topography



(See Pin Configurations (front page) for pin functions)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลอง

ค.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ค.1.1. การทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาวโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2 เซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 1 มิลลิเมตร จะได้ผล ดัง ตารางที่

ค.1

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2 เซนติเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
2	0.0025	0.000839	0.00042	3.52E-07
3	0.0025	0.000828	0.000276	2.285E-07
11	0.00344	0.000833	7.57E-05	6.308E-08
29	0.00375	0.000872	3.01E-05	2.622E-08
67.5	0.00438	0.000895	1.33E-05	1.187E-08
81.7	0.00531	0.000966	1.18E-05	1.142E-08
100	0.00594	0.000981	9.81E-06	9.624E-09
118.9	0.00688	0.00118	9.92E-06	1.171E-08
149.4	0.0103	0.00157	1.05E-05	1.65E-08
300	0.0109	0.00167	5.57E-06	9.296E-09
981	0.0303	0.00443	4.52E-06	2E-08
2000	0.0556	0.00868	4.34E-06	3.767E-08
4960	0.137	0.0211	4.25E-06	8.976E-08
9890	0.281	0.0417	4.22E-06	1.758E-07
20000	0.531	0.0823	4.12E-06	3.387E-07
29680	0.743	0.118	3.98E-06	4.691E-07
32570	0.856	0.133	4.08E-06	5.431E-07
48750	1.25	0.193	3.96E-06	7.641E-07
55000	1.44	0.22	0.000004	8.8E-07
97500	2.38	0.367	3.76E-06	1.381E-06
180100	3.94	0.623	3.46E-06	2.155E-06
198100	4	0.644	3.25E-06	2.094E-06
297900	5.06	0.822	2.76E-06	2.268E-06
391000	6.38	1.04	2.66E-06	2.766E-06
472200	6.72	1.15	2.44E-06	2.801E-06
672000	8.13	1.39	2.07E-06	2.875E-06
747000	8.44	1.47	1.97E-06	2.893E-06
813000	8.59	1.5	1.85E-06	2.768E-06
982000	9.69	1.62	1.65E-06	2.673E-06
1811000	10.8	1.96	1.08E-06	2.121E-06

(ต่อ) ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2 เซนติเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
982000	9.69	1.62	1.65E-06	2.673E-06
1811000	10.8	1.96	1.08E-06	2.121E-06

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาวโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2.5 เซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 1 มิลลิเมตร จะได้ผล ดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2.5 เซนติเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
3	0.00469	0.000794	0.000264667	2.10145E-07
11	0.00625	0.000854	7.76364E-05	6.63015E-08
29	0.00562	0.00081	2.7931E-05	2.26241E-08
67.5	0.00813	0.000952	1.41037E-05	1.34267E-08
81.7	0.00625	0.000951	1.16401E-05	1.10698E-08
100	0.0075	0.00121	0.0000121	1.4641E-08
118.9	0.00813	0.00128	1.07653E-05	1.37796E-08
149.4	0.01	0.00145	9.70549E-06	1.4073E-08
300	0.0175	0.00219	0.0000073	1.5987E-08
981	0.0484	0.00678	6.91131E-06	4.68587E-08
2000	0.00922	0.0132	0.0000066	8.712E-08
4960	0.231	0.0321	6.47177E-06	2.07744E-07
9890	0.462	0.0668	6.7543E-06	4.51187E-07
20000	0.856	0.127	0.00000635	8.0645E-07
29680	1.31	0.193	6.5027E-06	1.25502E-06
32570	1.45	0.211	6.47835E-06	1.36693E-06
48750	2.06	0.305	6.25641E-06	1.90821E-06
55000	2.44	0.362	6.58182E-06	2.38262E-06
97500	3.84	0.585	0.000006	0.00000351
180100	6.25	0.957	5.31371E-06	5.08522E-06
198100	6.69	1.02	5.14891E-06	5.25189E-06
297900	8.63	1.28	4.29674E-06	5.49983E-06
391000	9.56	1.46	3.73402E-06	5.45166E-06
472200	10.5	1.59	3.36722E-06	5.35388E-06
672000	11.3	1.77	2.63393E-06	4.66205E-06
747000	11.8	1.88	2.51673E-06	4.73146E-06
813000	13.8	1.97	2.42312E-06	4.77355E-06
982000	15	2.25	2.29124E-06	5.1553E-06
1811000	17.2	2.67	1.47432E-06	3.93644E-06
2082000	18.6	2.87	1.37848E-06	3.95624E-06
3140000	18.9	2.91	9.26752E-07	2.69685E-06
5000000	19.1	2.98	0.000000596	1.77608E-06

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาวโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2.7 เซนติเมตร ด้านการคำนวณค่า โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 1 มิลลิเมตร จะได้ผล ดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาว 2.7 เซนติเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
2	0.00281	0.00066	0.00033	2.178E-07
3	0.00312	0.000661	0.00022	1.456E-07
11	0.00344	0.000673	6.12E-05	4.118E-08
29	0.00468	0.00076	2.62E-05	1.992E-08
67.5	0.005	0.000827	1.23E-05	1.013E-08
81.7	0.00562	0.00086	1.05E-05	9.053E-09
100	0.00719	0.00109	1.09E-05	1.188E-08
118.9	0.00781	0.00111	9.34E-06	1.036E-08
149.4	0.01	0.00131	8.77E-06	1.149E-08
300	0.0163	0.00213	7.1E-06	1.512E-08
981	0.05	0.00686	6.99E-06	4.797E-08
2000	0.101	0.0139	6.95E-06	9.661E-08
4960	0.243	0.0335	6.75E-06	2.263E-07
9890	0.481	0.0676	6.84E-06	4.621E-07
20000	0.984	0.135	6.75E-06	9.113E-07
29680	1.42	0.197	6.64E-06	1.308E-06
32570	1.5	0.211	6.48E-06	1.367E-06
48750	2.19	0.307	6.3E-06	1.933E-06
55000	2.75	0.391	7.11E-06	2.78E-06
97500	4.69	0.639	6.55E-06	4.188E-06
180100	7.5	1.09	6.05E-06	6.597E-06
198100	8.13	1.16	5.86E-06	6.793E-06
297900	10.6	1.53	5.14E-06	7.858E-06
391000	12.5	1.84	4.71E-06	8.659E-06
472200	13.8	2.05	4.34E-06	8.9E-06
672000	15.6	2.35	3.5E-06	8.218E-06
747000	16.3	2.47	3.31E-06	8.167E-06
813000	17	2.55	3.14E-06	7.998E-06
982000	17.8	2.76	2.81E-06	7.757E-06
1811000	19.5	3.29	1.82E-06	5.977E-06
2082000	20	3.38	1.62E-06	5.487E-06
3140000	20.9	3.6	1.15E-06	4.127E-06
5000000	22.2	3.79	7.58E-07	2.873E-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2. การทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่างโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2.5 เซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 1 มิลลิเมตร จะได้ผล ดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1 มิลลิเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
2	4.38mv	0.000804	0.000402	3.23208E-07
3	4.69mv	0.000794	0.0002647	2.10145E-07
11	6.25mv	0.000854	7.764E-05	6.63015E-08
29	5.62mv	0.00081	2.793E-05	2.26241E-08
67.5	8.13mv	0.000952	1.41E-05	1.34267E-08
81.7	6.25mv	0.000951	1.164E-05	1.10698E-08
100	7.5 mv	0.00121	0.0000121	1.4641E-08
118.9	8.13mv	0.00128	1.077E-05	1.37796E-08
149.4	10mv	0.00145	9.705E-06	1.4073E-08
300	17.5mv	0.00219	0.0000073	1.5987E-08
981	48.4mv	0.00678	6.911E-06	4.68587E-08
2000	92.2mv	0.0132	0.0000066	8.712E-08
4960	231mv	0.0321	6.472E-06	2.07744E-07
9890	462mv	0.0668	6.754E-06	4.51187E-07
20000	856mv	0.127	6.35E-06	8.0645E-07
29680	1.31	0.193	6.503E-06	1.25502E-06
32570	1.45	0.211	6.478E-06	1.36693E-06
48750	2.06	0.305	6.256E-06	1.90821E-06
55000	2.44	0.362	6.582E-06	2.38262E-06
97500	3.84	0.585	0.000006	0.00000351
180100	6.25	0.957	5.314E-06	5.08522E-06
198100	6.69	1.02	5.149E-06	5.25189E-06
297900	8.63	1.28	4.297E-06	5.49983E-06
391000	9.56	1.46	3.734E-06	5.45166E-06
472200	10.5	1.59	3.367E-06	5.35388E-06
672000	11.3	1.77	2.634E-06	4.66205E-06
747000	11.8	1.88	2.517E-06	4.73146E-06
813000	13.8	1.97	2.423E-06	4.77355E-06
982000	15	2.25	2.291E-06	5.1553E-06
1811000	17.2	2.67	1.474E-06	3.93644E-06
2082000	18.6	2.87	1.378E-06	3.95624E-06
3140000	18.9	2.91	9.268E-07	2.69685E-06
5000000	19.1	2.98	5.96E-07	1.77608E-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่างโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2.5 เซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 1.5 มิลลิเมตร จะได้ผล ดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
2	0.00312	0.000765	0.0003825	2.92613E-07
3	0.00344	0.000759	0.000253	1.92027E-07
11	0.00375	0.000734	6.67273E-05	4.89778E-08
29	0.00438	0.000829	2.85862E-05	2.3698E-08
67.5	0.00562	0.000859	1.27259E-05	1.09316E-08
81.7	0.00562	0.000861	1.05386E-05	9.0737E-09
100	0.00625	0.000934	0.00000934	8.72356E-09
118.9	0.00656	0.000979	8.23381E-06	8.0609E-09
149.4	0.00719	0.00107	7.16198E-06	7.66332E-09
300	0.0128	0.00166	5.53333E-06	9.18533E-09
981	0.0438	0.00608	6.19776E-06	3.76824E-08
2000	0.0672	0.00986	0.00000493	4.86098E-08
4960	0.167	0.0237	4.77823E-06	1.13244E-07
9890	0.3	0.0449	4.53994E-06	2.03843E-07
20000	0.687	0.0958	0.00000479	4.58882E-07
29680	0.968	0.136	4.58221E-06	6.23181E-07
32570	1	0.141	4.32914E-06	6.10408E-07
48750	1.58	0.19	3.89744E-06	7.40513E-07
55000	2	0.28	5.09091E-06	1.42545E-06
97500	2.94	0.412	4.22564E-06	1.74096E-06
180100	4.63	0.665	3.69239E-06	2.45544E-06
198100	5.13	0.722	3.64462E-06	2.63142E-06
297900	6.72	0.999	3.35347E-06	3.35012E-06
391000	7.66	1.14	2.9156E-06	3.32379E-06
472200	8.59	1.31	2.77425E-06	3.63427E-06
672000	9.53	1.54	2.29167E-06	3.52917E-06
747000	10.5	1.61	2.15529E-06	3.47001E-06
813000	10.8	1.68	2.06642E-06	3.47159E-06
982000	11.6	1.81	1.84318E-06	3.33615E-06
1811000	12.2	2.09	1.15406E-06	2.41198E-06
2082000	12.5	2.15	1.03266E-06	2.22022E-06
3140000	13.1	2.24	7.13376E-07	1.59796E-06
5000000	14.1	2.39	0.000000478	1.14242E-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่างโดย ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ยาว 2.5 เซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิก ห่าง 2 มิลลิเมตร จะได้ผล ดังตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 2 มิลลิเมตร

Resister	V(P-P)	V(rms)	Current(A)	Power(W)
2	0.00344	0.000783	0.000392	3.06545E-07
3	0.00375	0.000775	0.000258	2.00208E-07
11	0.00312	0.000779	7.08E-05	5.51674E-08
29	0.00344	0.000791	2.73E-05	2.15752E-08
67.5	0.00406	0.000812	1.2E-05	9.76806E-09
81.7	0.00438	0.000815	9.98E-06	8.13005E-09
100	0.00468	0.000836	8.36E-06	6.98896E-09
118.9	0.00562	0.000891	7.49E-06	6.67688E-09
149.4	0.00656	0.000915	6.12E-06	5.60392E-09
300	0.00875	0.0012	0.000004	4.8E-09
981	0.0238	0.00315	3.21E-06	1.01147E-08
2000	0.0438	0.00603	3.02E-06	1.81805E-08
4960	0.0922	0.0147	2.96E-06	4.35665E-08
9890	0.184	0.0284	2.87E-06	8.15531E-08
20000	0.387	0.057	2.85E-06	1.6245E-07
29680	0.512	0.083	2.8E-06	2.32109E-07
32570	0.568	0.0909	2.79E-06	2.53694E-07
48750	0.859	0.133	2.73E-06	3.62851E-07
55000	0.953	0.15	2.73E-06	4.09091E-07
97500	2.13	0.328	3.36E-06	1.10343E-06
180100	2.53	0.415	2.3E-06	9.56274E-07
198100	2.84	0.45	2.27E-06	1.02221E-06
297900	3.81	0.615	2.06E-06	1.26964E-06
391000	4.31	0.72	1.84E-06	1.32583E-06
472200	4.81	0.803	1.7E-06	1.36554E-06
672000	6.06	0.971	1.44E-06	1.40304E-06
747000	6.25	1.01	1.35E-06	1.3656E-06
813000	6.41	1.05	1.29E-06	1.35609E-06
982000	7.19	1.18	1.2E-06	1.41792E-06
1811000	7.97	1.38	7.62E-07	1.05157E-06
2082000	8.28	1.5	7.2E-07	1.08069E-06
3140000	8.91	1.55	4.94E-07	7.65127E-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กย่อส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ MINIATURIZED ENERGY HARVESTER FROM THE MOVEMENT OF A HUMAN

ตอน อิศรากร*, สองเมือง นันทขว้าง, อีซพล สือพิพัฒน์, ภาณุพงศ์ โลจวิธ, วัชรินทร์ กิจวีโรภักษ์, พญัญญ์ เขียมประภากุล

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*ผู้ติดต่อ Kidong@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนองานวิจัยเพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานโดยการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนไหวแต่ละครั้งมาใช้ประโยชน์ โดยอาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเป็นส่วนกำเนิดพลังงานของอุปกรณ์และออกแบบตัวโครงสร้างของอุปกรณ์เพื่อไปติดกับแขนของมนุษย์ เมื่อมนุษย์มีการเคลื่อนไหวไม่ว่าจะเดิน วิ่ง ขยับร่างกายหรืออื่นๆ แขนก็จะเคลื่อนไหวตามไปด้วย โดยจะนำการเคลื่อนที่นี้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กย่อส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ ในขั้นแรกจะวิเคราะห์โครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อให้สอดคล้องกับการแกว่งแขนของมนุษย์และวิเคราะห์หาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่จะนำมาทำเป็นส่วนที่เป็นตัวกำเนิดพลังงาน สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กย่อส่วนนี้จะใช้การผลักของแม่เหล็กบนแผ่นเหล็กซึ่งอยู่บนโลหะวงกลมหมุนไปตัดผ่านแม่เหล็กบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดพลังไฟฟ้าขึ้นซึ่งจะนำไปเก็บไว้ในวงจรเก็บพลังงานเพื่อนำไปใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พลังงานต่ำ

คำหลัก: การเคลื่อนที่, เพียโซอิเล็กทริก และ อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

ABSTRACT

This paper presents the energy harvesting from the movement of a human. The objective is to converse kinetic energy from the movement of a human to electrical energy by using piezoelectric and design a prototype that can mount to the human arm. The project has been conducted as in the following steps. First, to analyze the energy harvester prototype according to the swinging of a human and use the result to create the miniaturized energy harvester. Then optimize the size of piezoelectric that will be used to produce electrical energy. According to the design in this project, magnets were attached to an circular stainless plate and the magnet will push another magnet on piezoelectric result in displacement of the piezoelectric that will induce electric field. The electrical energy were used in order to activate low power electronic devices.

Keywords: movement, Piezoelectric and Energy harvester

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและต่อไปในอนาคต ประชากรโลกได้ตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานและการใช้พลังงานอย่างประหยัดและหาวิธีเพื่อที่จะหาพลังงานทดแทนต่าง ๆ มากมาย เพราะปัจจุบันพลังงานจำเป็นต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก

เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานธรรมชาติโดยแนวคิดในการเก็บเกี่ยวเก็บเกี่ยวพลังงานนั้นเกี่ยวกับกระบวนการของการใช้พลังงานรอบตัวซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พลังงานต่ำ โดยงานวิจัยเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวพลังงานกลายเป็นความก้าวหน้าที่ยิ่งใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยตัวเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการเก็บพลังงานจากการสั่นสะเทือนมีอยู่ 3 วิธี หลักๆ ดังนี้ ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Charges) เกิดจากการที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงดึงดูดเมื่อวัตถุทั้ง 2 ชิ้นมีประจุต่างชนิดกัน แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) เป็นอำนาจแม่เหล็กที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำ ซึ่งเกิดจากการตัดผ่านหรือการลัดวงจรของตัวนำในสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากนั้นจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำนั้นเช่นกัน และ เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เพียโซอิเล็กทริกเป็นเซรามิกประเภทหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนเพราะมีประสิทธิภาพที่สามารถแปลงความเครียดเชิงกลที่ให้พลังงานไฟฟ้าได้ไม่มีสิ้นสุด และใช้โครงสร้างที่เรียบง่าย ในทางกลับกันเมื่อเพียโซอิเล็กทริก ได้รับกระแสไฟฟ้าก็จะสามารถกำเนิดพลังงานกลได้เช่นกัน [1-4]

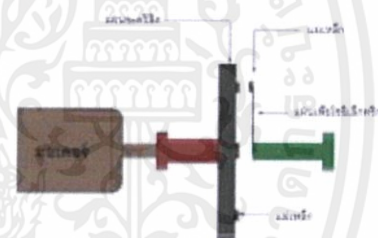
ในทุกๆ วันมนุษย์มีการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อที่จะทำกิจกรรมต่างๆ มากมาย ผู้วิจัยจึงสังเกตเห็นถึงวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์เพื่อจะนำพลังงานที่ได้มาใช้ประโยชน์ต่างๆ โดยงานวิจัยนี้เกิดแนวคิดพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) กล่าวคือเมื่อได้รับแรงทางกล (Mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เรียกว่า ปรากฏเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect) ซึ่งใช้การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการก่อกวนของโลหะวงกลมที่ไม่สมดุลเพื่อให้เกิดอิสระในการหมุนมากขึ้นและใช้การผลักของแม่เหล็กไปตัดผ่านกระดุมให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เกิดพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บในหน่วยเก็บพลังงานต่อไป [5] การวิจัยครั้งนี้จะทำให้กำเนิดเทคโนโลยีใหม่ในเรื่องของการกำเนิดพลังงานจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากนัก อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้เป็นเหมือนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งเป็นพลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ในการวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงประโยชน์ของการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ ซึ่งแขนถือเป็นอวัยวะที่เคลื่อนไหวบ่อยมากในร่างกาย [6] ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาว่าจะนำอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้ไปติดกับแขนของมนุษย์ เนื่องจากอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้มีส่วนกำเนิดพลังงานที่อาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

ซึ่งเมื่อเกิดการกระจัดที่มากและบ่อยครั้งก็จะให้พลังงานไฟฟ้าออกมามาก ดังนั้นจึงเลือกติดกับแขนที่เคลื่อนไหวบ่อย

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองจะออกแบบชุดทดลองแทนการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ เริ่มต้นจากการใช้สแตมป์มอเตอร์ติดกับแผ่นอะคริลิกพลาสติก ขนาด 5 x 5 x 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยสั่งให้มอเตอร์หมุนไปกลับเป็นคาบแทนการเคลื่อนไหวของแขน เพื่ออำนวยความสะดวกและการควบคุมเพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการ จึงเลือกสแตมป์มอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วและมุมในการหมุนได้ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยติดแม่เหล็กทรงกระบอก ขนาด 2 x 1 ตารางมิลลิเมตร ไว้บนแผ่นอะคริลิกพลาสติก 4 ตัว โดยแต่ละตัวมีระยะห่างกัน 90° และให้อีกด้านเป็นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยติดแม่เหล็กไว้ที่ปลายของแผ่นโลหะ โดยแม่เหล็กทั้งหมดเป็นขั้วเดียวกันและแผ่นโลหะหนา 0.1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 2 Hz สั่งการให้หมุน 360° ไปกลับเป็นคาบ ด้วยแนวคิดโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้มีหลักการเดียวกับการหมุนของล้อที่ไม่สมดุล (Unbalance Wheel) ในนาฬิกา ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 2-4 Hz [7] ดังนั้นจึงนำหลักการเดียวกันนี้มาอ้างอิงในการสั่งการความเร็วของมอเตอร์เพื่อใช้ในการทดลอง โดยตั้งระยะห่างระหว่างเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิกพลาสติกให้ห่างกัน 1 มิลลิเมตร เมื่อมอเตอร์หมุนโลหะวงกลมจะหมุนเกิดการตัดผ่านของแม่เหล็กกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทำให้เกิดระยะกระจัดขึ้นกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกและกำเนิดพลังงานทางไฟฟ้าขึ้นมา และนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านโพลค่าต่างๆ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป

ในการทดลองขั้นแรกวิเคราะห์การกระจัดกับเงื่อนไขต่างๆที่เปลี่ยนไป ดังนั้น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะ วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม วิเคราะห์จำนวนของแม่เหล็กบนโลหะวงกลม ตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ และวิเคราะห์หาตัวแม่เหล็กที่เหมาะสม เพื่อออกแบบโครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน โดยในการทดลองนี้ใช้แผ่นโลหะสแตนเลสติดแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อนำมาหาแนวโน้มในการหาขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสม เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีราคาแพงจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมก่อนที่จะนำมาศึกษา และการวิเคราะห์หาระยะการกระจัดของแผ่นโลหะนั้นได้ใช้กล้องวีดีโอบันทึกภาพเป็นเวลา 15 วินาที และนำไปวิเคราะห์หาระยะการกระจัดด้วยโปรแกรม nano+ Metrology for MEMS [8] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์การกระจัดของวัตถุจากวีดีโอ โดยให้ตำแหน่งของวัตถุเมื่อเริ่มวีดีโอมีระยะการกระจัดเป็นศูนย์ โดยจะแสดงผลบนโปรแกรม Microsoft Excel เป็นระยะการกระจัดตามจำนวนเฟรมของวีดีโอในทันที ซึ่งกล้องที่ใช้บันทึกภาพมีความละเอียดในการอัด 30 เฟรม/วินาที

ในการทดลองลำดับต่อมาได้วิเคราะห์หาคูณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งมีดังนี้ วิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) กำลังไฟฟ้า (Power) ค่าโพลที่เหมาะสมที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Optimal load) โดยได้นำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้ออกแบบจากการทดลองนำมาใช้วิเคราะห์หาคูณสมบัติทางไฟฟ้าที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งในวิเคราะห์นี้ใช้ชุดทดลองเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ โดยการทดลองนี้จะวิเคราะห์ที่และบันทึกผลจากออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

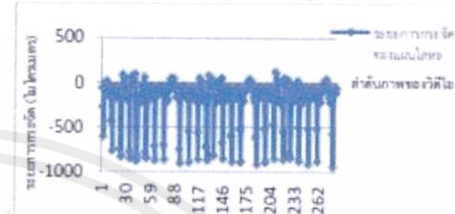
3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์

การวิเคราะห์หาโครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงหลักๆ คือ ขนาดของต้นแบบควรมีขนาดเล็กเพื่อง่ายในการติดกับแขน ความแข็งแรงในการ

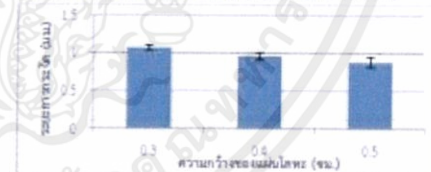
ใช้งานจริง และประสิทธิภาพในการใช้งานให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของมนุษย์

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของผลการวิเคราะห์การกระจัดจากโปรแกรม nano+ Metrology for MEMS

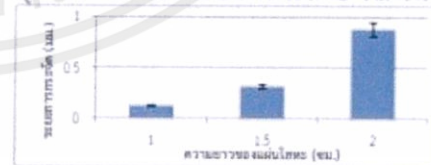


รูปที่ 2 กราฟการเปรียบเทียบการกระจัดด้วยโปรแกรม nano+ Metrology for MEMS

การวิเคราะห์ขนาดของแผ่นโลหะ ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะได้เปลี่ยนความกว้างของแผ่นโลหะจาก 0.3 ซม. เป็น 0.4 ซม. และ 0.5 ซม. โดยที่โลหะยาว 2 เซนติเมตร แล้วเปรียบเทียบการกระจัดได้ผลดังรูปที่ 3 และในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะได้เปลี่ยนความยาวของแผ่นโลหะจาก 1 ซม. เป็น 1.5 ซม. และ 2 ซม. แล้วเปรียบเทียบการกระจัดได้ผลดังรูปที่ 4 จากผลการทดลองควรที่จะเลือกแผ่นโลหะที่ยาวแต่กว้างน้อยลง เพื่อให้ได้ระยะการกระจัดที่มากแต่จะแข็งแรงน้อยลง ซึ่งเราควรคำนึงถึงความแข็งแรงของแผ่นโลหะด้วย ดังนั้นควรที่จะเพิ่มความกว้างของแผ่นโลหะเพื่อเสริมความแข็งแรง ที่เลือกเปลี่ยนแปลงความกว้างเพราะมีผลต่อระยะการกระจัดน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงความยาว



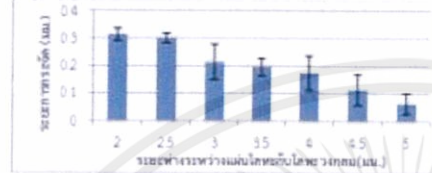
รูปที่ 3 กราฟการเปรียบเทียบการกระจัดกับความกว้าง



รูปที่ 4 กราฟการเปรียบเทียบการกระจัดกับความยาว

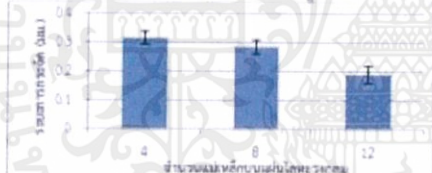
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม ได้เปลี่ยนแปลงระยะห่างจาก 2 มม. เป็น 2.5 มม., 3 มม., 3.5 มม., 4 มม., 4.5 มม. และ 5 มม. ตามลำดับแล้วเปรียบเทียบหาระยะการกระจัดเมื่อระยะห่างมากขึ้นก็จะได้ระยะการกระจัดลดลงได้ผลดังรูปที่ 5



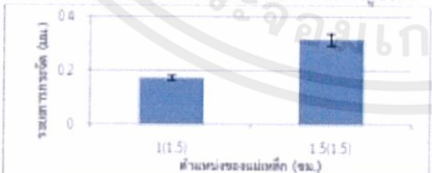
รูปที่ 5 กราฟการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม

ในการวิเคราะห์ที่จำนวนของแม่เหล็กบนโลหะวงกลม เพื่อวิเคราะห์หาว่าเมื่อจำนวนแม่เหล็กมากขึ้นจะมีผลอย่างไรกับระยะการกระจัด โดยเปลี่ยนแปลงจำนวนแม่เหล็กจาก 4 ตัว เป็น 8 ตัว และ 12 ตัว โดยแม่เหล็กแต่ละตัวมีระยะห่างที่มุมเท่าๆกัน ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบหาระยะการกระจัดพบว่าเมื่อจำนวนแม่เหล็กเพิ่มขึ้นระยะการกระจัดจะลดลงได้ผลดังรูปที่ 6



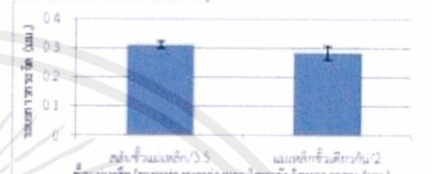
รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบจำนวนแม่เหล็กบนโลหะวงกลม

ต่อมาในการวิเคราะห์หาตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ ซึ่งปกติจะติดไว้ที่ปลายของแผ่นโลหะ แต่จะทำกรวเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแม่เหล็กบนแผ่นโลหะโดยที่โลหะยาว 1.5 cm ซึ่งเมื่อแม่เหล็กเลื่อนตำแหน่งเข้ามาจากปลายจะได้ระยะการกระจัดลดลง ได้ผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ

และได้มีการทดลองเกี่ยวกับขั้วแม่เหล็กบนโลหะวงกลม ซึ่งปกติแล้วจะใช้แม่เหล็กขั้วเดียวกันทั้งหมด ซึ่งผู้ทดลองได้ทำการวิเคราะห์ที่แล้วพบว่า เมื่อเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กจากขั้วเดียวกัน เป็นขั้วเหนือกับขั้วใต้สลับกันนั้นจะเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลมประมาณ 2 เท่า แต่ได้ระยะการกระจัดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟการเปรียบเทียบขั้วแม่เหล็กบนโลหะวงกลม จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาทั้งหมด สามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 1

การทดลอง	สรุปผลการทดลอง
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นโลหะ	ความกว้าง \propto $\frac{1}{\text{ระยะการกระจัด}}$
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นโลหะ	ความยาว \propto $\frac{1}{\text{ระยะการกระจัด}}$
วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะกับโลหะวงกลม	ระยะห่าง \propto $\frac{1}{\text{ระยะการกระจัด}}$
วิเคราะห์จำนวนของแม่เหล็กบนโลหะวงกลม	แม่เหล็ก \propto $\frac{1}{\text{ระยะการกระจัด}}$
ตำแหน่งแม่เหล็กบนแผ่นโลหะ	ตำแหน่ง \propto $\frac{1}{\text{ระยะการกระจัด}}$

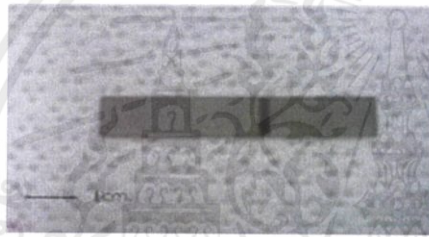
จากผลการทดลองจึงสามารถนำมาออกแบบแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยถ้าต้องการระยะการกระจัดที่มากจำเป็นต้องเลือกขนาดที่ยาวไว้ก่อนและต้องกว้างน้อยสุดเท่าที่จะทำได้ แต่ในการออกแบบดังที่กล่าวไว้ข้างต้นจำเป็นต้องคำนึงถึงความแข็งแรงด้วย ดังนั้นจึงเลือกเพิ่มความกว้าง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นโลหะ ซึ่งอาจจะทำให้ระยะการกระจัดน้อยลงแต่เมื่อเทียบกับความแข็งแรงแล้ว ถือว่าเป็นการออกแบบที่ลงตัวและเหมาะสมที่สุด ซึ่งจากการออกแบบก็สามารถเลือกขนาดของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ โดยใช้เพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A4-203X สั่งซื้อจากบริษัท PIEZO SYSTEMS, INC. ซึ่งเพียโซอิเล็กทริกนี้มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 และมีขนาดตามรูปที่ 9 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมตามที่ออกแบบไว้ และมีจำหน่ายจริงตามท้องตลาด ซึ่งในการออกแบบวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงว่าวัสดุนั้นมีขายจริงตามท้องตลาด [9]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก รุ่น T220-A4-203X

Piezoelectric	Deflection (mm)	Voltage (V)	Current ($\mu\text{A}/\text{Hz}$)	Power (mW)
T220-A4-203X	± 0.38	16	3	1.9



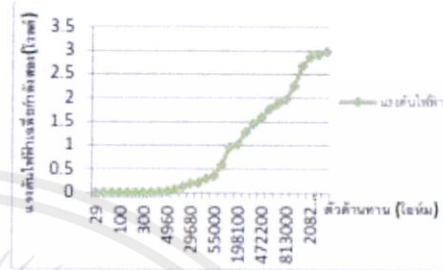
รูปที่ 9 ขนาดของเพียโซ

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า

ในการทดลองนี้ได้อุปกรณ์การทดลองบริเวณชุดก่อนหน้า แต่เปลี่ยนจากแผ่นเหล็กแตนเลสสตีลเป็นแผ่นเพียโซอิเล็กทริกและสิ่งวิเคราะห์คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งนำไปต่อกับโหลด (Resistor) เพื่อนำมาคำนวณหากระแสไฟฟ้า (Current) และ กำลังไฟฟ้า (Power) ต่อไปตามลำดับ

โดยที่คำนวณแรงดันไฟฟ้าที่วิเคราะห์มาได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ย rms (root mean square) ในเวลา 15 วินาที ขีดแผ่นเพียโซอิเล็กทริกให้ยาวออกมา 2.5 cm วางแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นอะคริลิกพลาสติกให้ห่างกัน 1 mm จากแผ่นและได้ทดลองซ้ำกันหลายครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยได้ผลดังรูปที่ 10 จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสามารถวิเคราะห์หาโหลดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (optimal load) มีค่า 297.9 กิโลโอห์ม (k Ω) โดยแรงดันไฟฟ้าได้ 8.63 โวลต์ (Vp-p) และได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกำลังสอง (rms) เท่ากับ 1.28 โวลต์

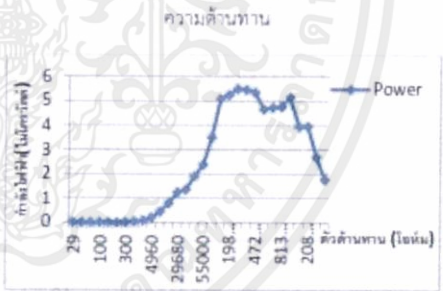
(V) มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4.3 ไมโครแอมแปร์ (μA) และได้กำลังไฟฟ้า เท่ากับ 5.5 ไมโครวัตต์ (μW)



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับ



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ



รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ

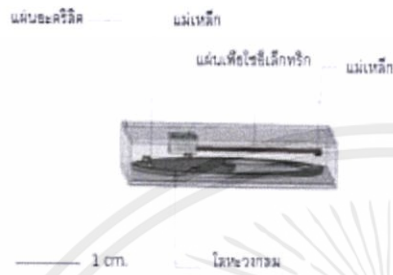
ความต้านทาน

4. โครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

ในส่วนของโครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ ในขั้นต้นได้ออกแบบเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด 5 x 5 x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้านในประกอบด้วยโลหะวงกลมที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลซึ่งสามารถหมุนได้อย่างอิสระและแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 13 โดยขณะนี้อยู่ในระหว่างจัดสร้างต้นแบบและทดลองการทำงาน



รูปที่ 13 ต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

5. สรุป

การสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานพลังงานขนาดเล็กส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ สามารถที่จะกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในสภาวะที่ไม่มีโหลด อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ 19 โวลต์ (Vp-p) และในสภาวะที่มีโหลด อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานนี้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ 8.63 โวลต์ (Vp-p) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกำลังลงได้ 1.28 โวลต์ (Vrms) ค่าความหนากระแสไฟฟ้าได้ 4.3 ไมโครแอมแปร์ (μA) และได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.5 ไมโครวัตต์ (μW) วิศวกรรมที่โหลดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (optimal load) มีค่า 297.9 กิโลโอห์ม (kΩ) ซึ่งพลังงานที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับร่างกายมนุษย์หรือจะเป็นระบบเครือข่ายกายสัมพันธ์ (Body Area Network)

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Sutrisno W, Ibrahim, and Wahied G, Ali, Power Enhancement for Piezoelectric Energy Harvester, Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol II WCE 2012, July 4 - 6, 2012, London, U.K.
- [2] Electromagnetic [Online Document]. Available from: <<http://webhtml.horhook.com/wbi/ec/5magnet-04.htm>>
- [3] Electrostatic Charges [Online Encyclopedia]. Available from: <<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B4%E0%B8%95>>
- [4] Piezoelectricity [Online Encyclopedia]. Available from: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity>>
- [5] ชาญณรงค์ น้อยบายาง และ ดาว สุวรรณกิจ, "ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน (Piezoelectric Effect and Application)" THE JOURNAL OF APPLIED SCIENCE; Vol.8, No 1, June 2009
- [6] Joints [Online Encyclopedia]. Available from: <<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%B2%E0%B9%B9%E0%B8%AD%E0%BB%95%E0%B9%B8%E0%B8%AD>>
- [7] "Energy scavenging from a rotating gear using an impact type piezoelectric mems scavenger". The European patent application N°EP 11168703.4 filed on June 3, 2011
- [8] Program nano+ Metrology for MEMS for analyze displacement, C.Yamahata, E. sarajlic, G.J.M. Krijnen, M.A.M. Gijs, "Subnanometer translation of microelectromechanical systems measured by discrete Fourier analysis of CCD image," *Journal of Microelectromechanical Systems* 19 (5), pp 1273-1275, 2010.
- [9] Piezoelectric specification [Online Document]. Available from: <<http://www.piezo.com/prodbs7qm.html>>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sutrisno W. Ibrahim, and Wahied G. Ali, Power Enhancement for Piezoelectric Energy Harvester, Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol II WCE 2012, July 4 - 6, 2012, London, U.K.
- [2] “Energy scavenging from a rotating gear using an impact type piezoelectric mems scavenger”, The European patent application N°EP 11168703.4 filed on June 3, 2011
- [3] Junior’sBook.com “Who invented the Quartz clock”
[Online Document]. Available from:<http://www.juniorsbook.com/activity_workshop.asp?aid=2912>
- [4] ORIENT “Hand-Wound Mechanical watch mechanism”
[Online Document]. Available from:
<<http://www.orient-watch.com/feature/mechanical/>>
- [5] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง และ ถาวร สุวรรณกิจ, “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน (Piezoelectric Effect and Application)” THE JOURNAL OF APPLIED SCIENCE; Vol.8, No 1, June 2009
- [6] PIEZO SYSTEMS, INC. Piezoelectric specification
[Online Document]. Available from:
<<http://www.piezo.com/prodbg7qm.html>>
- [7] วิชาความแข็งแรงวัสดุ “ความเค้นและความเครียด”
[Online Document]. Available from:
<www.stc.ac.th/stc/data/data_aum-n/1_02.pdf>
- [8] แม่เหล็กไฟฟ้า
[Online Document]. Available from: <tc.mengrai.ac.th/sutthikit/52.ppt>
- [9] สมบัติทางกลของโลหะ “ความแข็งแรง”
[Online Document]. Available from: <[e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-1.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-1.pdf)>

- [10] ETT “ET-Easy168 STAMP”
 [Online Document]. Available from:
 <http://www.etteam.com/product2009/ET-AVR/ETEasy168_STAMP.html>
- [11] ETT “ET-MINI SMCC-547”
 [Online Document]. Available from:
 <<http://www.etteam.com/product/InterfaceBoard/P-ET-A-00234.html>>
- [12] Element14 “Max 663”
 [Online Document]. Available from:
<http://uk.farnell.com/maxim-integrated-products/max666cpa/ic-v-reg-adj-2-16-5v-dip8-666/dp/205280>
- [13] Maxim Integrate “Dual mode 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators” [Online Document]. Available from:
 <<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/1330>>
- [14] C.Yamahata, E. sarajlic, G.J.M. Krijinen, M.A.M. Gijs, Program nano+ Metrology for MEMS for analyze displacement, “Subnanometer translation of microelectromechanical systems measured by discrete Fourier analysis of CCD image,” *Journal of Microeletromechanical Systems* 19 (5), pp. 1273-1275, 2010.
- [15] PIEZO SYSTEMS, INC. “PIEZOELECTRIC BENDING SENSORS”
 [Online Document]. Available from:
<http://uk.farnell.com/maxim-integrated-products/max666cpa/ic-v-reg-adj-2-16-5v-dip8-666/dp/205280>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายรัชพล สีลพิพัฒน์

เกิดวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2533

ที่อยู่ 201/327 หมู่ 11 ถ. เทพารักษ์ ต.บางพลีใหญ่ อ. บางพลี จ. สมุทรปราการ 10540

โทรศัพท์ 084-6555100

E-mail : ping_dekdee_01@hotmail.com

Facebook : Spring Silpipat

ประวัติการศึกษา

2003 – 2008 โรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย เขตพระโขนง กรุงเทพฯ

สายการเรียน วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

2009 – 2012 สาขาวิชาการวัดและการควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายภาณุพงศ์ โลจรัส

เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534

ที่อยู่ 41 หมู่ 12 หมู่บ้านเจริญสุข ต. แก่งสนามนาง อ. แก่งสนามนาง จ. นครราชสีมา 30440

โทรศัพท์ 086-8740195

E-mail : panupong_rojarus@hotmail.com

Facebook : <http://www.facebook.com/panupong.lojarus>

ประวัติการศึกษา

2003 – 2008 โรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

สายการเรียน วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

2009 – 2012 สาขาวิชาการวัดและการควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายวัชรินทร์ กิจวิไลรักษ์

เกิดวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2533

ที่อยู่ 4/4 ถ. ท่าเรือ-พระพุทธบาท ต.ท่าเรือ อ.ท่าเรือ จ. พระนครศรีอยุธยา 13130

โทรศัพท์ 084-6946949

E-mail : watcharin_33@hotmail.com

Facebook : <http://www.facebook.com/watcharin.kitwilairak>

ประวัติการศึกษา

2006 – 2008 โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

สายการเรียน วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

2009 – 2012 สาขาวิชาการวัดและการควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายทฤษฎี เอี่ยมประภากุล

เกิดวันที่ 06 กันยายน พ.ศ. 2533

ที่อยู่ 1/38 หมู่ 11 หมู่บ้านอิมอัมพร 2 ถนนสายบางแวก แขวงบางเข็อกหนึ่ง เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทรศัพท์ 081-555-3533

E-mail : marlbroman108@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2003 – 2008 โรงเรียนทวิธาภิเศก เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ

สายการเรียน วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

2009 – 2012 สาขาวิชาการวัดและการควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้