

**ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล**

**SEA WAVE ENERGY HARVESTING SYSTEM**



**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2556**

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

SEA WAVE ENERGY HARVESTING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

# SEA WAVE ENERGY HARVESTING SYSTEM



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ FACULTY OF ENGINEERING อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ให้นำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2013

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

SEA WAVE ENERGY HARVESTING SYSTEM

ผู้จัดทำ นายสาธิต ศรียุทธไกร 53011665



*[Signature]*.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร.ดอน อิศรากร)

*[Signature]*.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

โดย

นายสาธิต ศรียุทธไกร 53011665

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ดอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2556

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาเชิงทดลอง และการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งพลังงานให้ระบบต่างๆ อาทิเช่น ระบบเก็บข้อมูลทางสถิติทางทะเล ระบบหุ่นนำทาง หรือระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น ในการศึกษาาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย การศึกษาเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (Piezoelectric Generator) เพื่อแปรรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านการงอตัวของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยมุ่งเน้นไปที่ตัวแปร และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ จากนั้นจึงทำการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาโครงสร้างส่งกำลังของระบบเพื่อนำมาใช้ในการส่งถ่ายพลังงานกลจากคลื่นทะเลไปสู่เพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ และทำการทดสอบวัดค่าจริงในทะเลด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger) เพื่อที่จะทราบผลการตอบสนองของระบบต่อคลื่นทะเล และสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้พัฒนาระบบต่อไป ในการศึกษาาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนากรรมวิธี และขยายขอบเขตการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในรูปแบบของหุ่นลอย เพื่อผู้อ่านจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SEA WAVE ENERGY HARVESTING SYSTEM

By

Mr. Sathin Sriyuttakrai 53011665

Advisors

Asst. Prof. Dr. Don Isarakorn

Mr. Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2013

## ABSTRACT

This thesis presents experimental research and implemental procedures of sea wave energy harvesting systems to convert wave energy into usable electrical energy for application systems which use in the sea, for example, sea wave data logger, navigation buoy and wireless sensor networks. This research conducted the optimization of piezoelectric generator; convert from mechanical energy to electrical energy by using the bending of piezoelectric plate through the jostling of permanent magnets' magnetic fields and research of effective power transmission system from sea wave to piezoelectric generator. Next, put the systems to test in the sea and measure the system's response by using data logger. Finally, evaluate the system by using the results from data logger. This research has main objective to develop and extend the process of energy harvesting from sea wave in a form of floating buoy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้หากปราศจากคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร และอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์ต่างๆ ในยามจำเป็น อาจารย์ทั้งสองท่านเปรียบเสมือนแนวทาง และแรงบันดาลใจในการพัฒนาผลงานชิ้นนี้ ให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำมีความประทับใจ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านทั้งสองให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่คอยช่วยเหลือ และตอบข้อสงสัยในการออกแบบเชิงกลต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นแรงบันดาลใจในการออกแบบชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยประสาขาวิชาต่างๆ ตลอดสี่ปีในรั้วมหาวิทยาลัยแห่งนี้ จนทางผู้จัดทำสามารถผลิตผลงานชิ้นนี้ออกมาสำเร็จได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม

ขอขอบคุณคุณศักดิ์ชัย ศรียุทธไกร และคุณสุสิวรรณ ไหว้ฒนากร บิดา และมารดาผู้ให้กำเนิด ผู้คอยสนับสนุน อบรมสั่งสอน และส่งเสริมงานจบการศึกษาในระดับปริญญาตรีนี้ ถ้าไม่ได้พวกท่านก็คงไม่สามารถมีวันนี้ได้

ขอขอบคุณ คุณกฤษดิษฐ์ กมลพัฒนะ คุณพัฒนะ คัยนันท์ คุณสุกิจ แซ่โอ้ว และคุณศุภวัฒน์ ชัยสวัสดิ์ ที่คอยช่วยเหลือและ ให้ความเห็นกับงานวิจัยชิ้นนี้ในด้านการเขียนโปรแกรม การออกแบบทางกลศาสตร์ การออกแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ และคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด ถ้าไม่ได้รับคำปรึกษาที่ดีจากทุกท่าน ทางผู้จัดทำก็ไม่สามารถสร้างผลงานวิจัยชิ้นนี้ออกมาได้

ขอขอบคุณ คุณพรหมินทร์ ไร่ชื่น และคุณสาทิส บุญประเสริฐ ที่ได้ร่วมวิจัยในช่วงต้นมาด้วยกัน จนข้าพเจ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาต่อให้ดียิ่งขึ้น จนเป็นชิ้นงานชิ้นนี้ได้

ขอขอบคุณ อุปสรรคนานับประการที่ผ่านเข้ามาในชีวิต ที่ทำให้ผู้จัดทำมีการพัฒนาตนเองในด้านต่างๆ มีความสุข ความทุกข์ และประสบการณ์ในการดำรงชีวิตต่อไป

ผู้จัดทำ

นายสาธิต ศรียุทธไกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม	4
2.1.1 คลื่นมหาสมุทร	5
2.1.1.1 ส่วนประกอบของคลื่น	6
2.1.1.2 การจำแนกคลื่นมหาสมุทร	7
2.1.2 เพียโซอิเล็กทริกเงินเนอเรเตอร์	8
2.1.2.1 ระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค	8
2.1.2.2 ปรากฎการณ์เพียโซอิเล็กทริก	9
2.1.2.3 หลักการเปลี่ยนรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเงินเนอเรเตอร์	10
2.2 อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล	10
2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.2.1.1 การติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	11
2.2.1.2 การติดต่อสื่อสารแบบ SPI	11
2.2.1.3 การแปลงค่าอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัล	12
2.2.2 เอสดีการ์ด	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยในชั้นเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัปโหลดเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ลงในเว็บไซต์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ	13
2.2.3.1 การวัดความเร่งเชิงเส้น และการวัดความเร็วเชิงมุม	13
2.2.3.2 การวัดตำแหน่งเชิงมุม	14
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบ</b>	<b>16</b>
3.1 เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	16
3.1.1 ส่วนประกอบของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	17
3.1.1.1 ส่วนสเตเตอร์	17
3.1.1.2 ส่วนโรเตอร์	19
3.1.2 ชุดทดสอบเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	20
3.2 โครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน	20
3.2.1 หลักการทำงาน	21
3.2.2 ส่วนประกอบ	21
3.3 ชุดเก็บข้อมูลของโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน	22
3.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของระบบ	23
3.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการหมุนของลูกตุ้ม	23
3.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดการเก็บเกี่ยวพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	24
3.3.4 อุปกรณ์เก็บข้อมูล	24
3.3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	24
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>27</b>
4.1 การทดลองเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	27
4.1.1 การทดลองด้วยเพียโซอิเล็กทริก1แผ่น	27
4.1.1.1 การทดลองปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์และสเตเตอร์	27
4.1.1.2 การทดลองปรับความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์	29
4.1.1.3 การทดสอบปรับจำนวนแม่เหล็ก	30
4.1.2 การทดลองด้วยเพียโซอิเล็กทริก4แผ่น	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.1 การทดลองเพื่อหาวิธีต่อวงจรรวมของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	32
4.1.2.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุน	34
4.1.2.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก	41
4.2 การทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล	43
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	<b>47</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.1.1 การออกแบบและพัฒนาเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	47
5.1.2 การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน	47
5.2 ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข	48
5.4 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก	52
ประวัติผู้แต่ง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมของการเก็บเกี่ยวพลังงาน	5
2.2 ลักษณะของคลื่นมหาสมุทร	5
2.3 ส่วนประกอบคลื่น	6
2.4 การจำแนกคลื่นตามแบบต่างๆ	7
2.5 ลักษณะของคลื่นน้ำลึก	7
2.6 ลักษณะของคลื่นส่งผ่าน	8
2.7 ลักษณะของคลื่นน้ำตื้น	8
2.8 ตัวอย่างอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค	9
2.9 ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก	9
2.10 การแปรรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	10
2.11 ลักษณะทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.12 แผนภาพวงจรของการติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	11
2.13 ลักษณะสัญญาณของการติดต่อสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	11
2.14 แผนผังวงจรในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI	12
2.15 สัญญาณในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI	12
2.16 ลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของ ADC	13
2.17 สายสัญญาณของ SD Card ในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI	13
3.1 แผนผังโดยรวมของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล	16
3.2 โครงสร้างทั้งหมดของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	17
3.3 โครงสร้างโดยรวมของส่วนสเตเตอร์	17
3.4 ลักษณะเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ยึดติดกับแม่เหล็กขนาดเล็ก	18
3.5 โครงสร้างตัวอย่างของส่วนโรเตอร์โมดูล A08	19
3.6 โครงสร้างตัวอย่างของส่วนโรเตอร์โมดูล B01	19
3.7 โครงสร้างของชุดทดสอบและเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	20
3.8 โครงสร้างในการส่งถ่ายพลังงานโดยรวม	20
3.9 ทุ่นลอยแบบต่างๆ ของบริษัท Samhwa Fishing Industrial Co., Ltd	21
3.10 ลักษณะอุปกรณ์เก็บข้อมูลในการส่งถ่ายพลังงานในภาพรวม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า	22
3.11 ลักษณะบอร์ด Gy-521 ที่คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ	23
3.12 แผนผังวงจรของบอร์ด Gy-521	23

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ลักษณะของบอร์ด DFRobot Dreamer Nano V4.0	25
3.14 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน	25
3.15 แผนผังวงจรของอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน	26
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก	28
4.2 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ระยะห่าง 10 mm (ซ้าย) และ 5 mm (ขวา)	28
4.3 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ความเร็ว 10 RPM (ซ้าย) และที่ความเร็ว 30 RPM(ขวา)	29
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์	29
4.5 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ความเร็ว 50 RPM ของโมดูล A01(ซ้าย) และโมดูล A04(ขวา)	30
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับจำนวนแม่เหล็กบนโรเตอร์	30
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วรอบของโรเตอร์ของแต่ละโมดูล	31
4.8 ตัวอย่างผลการทดลองเทียบรูปสัญญาณ	32
4.9 ลักษณะการไหลไรเซนซ์ของเพียโซอิเล็กทริก	32
4.10 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก	33
4.11 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก	33
4.12 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก	34
4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04	35
4.14 กราฟแสดงค่ากระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04	35
4.15 กราฟแสดงค่าพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04	35
4.16 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01	36
4.17 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01	36
4.18 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01	37
4.19 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02	37
4.20 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02	38
4.21 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02	38
4.22 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11	39
4.23 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11	39
4.24 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11	39
4.25 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12	40
4.26 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12	41
4.28 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11 (ซ้าย) และ B12 (ขวา) ที่ตัวต้านทาน 100 k $\Omega$	42
4.29 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11	42
4.30 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11	42
4.31 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11	43
4.32 หาดตะวันตกฉายสถานที่ที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล	43
4.33 สภาพการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานในสถานที่จริง	44
4.34 ลักษณะอุปกรณ์เก็บข้อมูลในการส่งถ่ายพลังงานในภาพรวม	45
4.35 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของระบบในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล	45
4.36 กราฟแสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ 22 $\mu$ F ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล	45
4.37 กราฟแสดงตัวอย่างพลังงานที่เก็บได้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงข้อมูลต่างๆ ของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ของบริษัท Piezo Systems	18
3.2 แสดงคุณสมบัติหุ่นลอยแบบต่างๆ ของบริษัท Samhwa Fishing Industrial Co., Ltd	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการวัดและระบบควบคุมมีการพัฒนาไปอย่างมาก จากการพัฒนาของเทคโนโลยีวงจรรวม (Integrated Circuit; IC) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ทำงานได้เร็วขึ้น และมีการใช้พลังงานที่น้อยลง ส่งผลให้ขอบเขตการวิจัยมีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง เป็นเหตุให้เกิดการคิดค้นเทคโนโลยีชนิดใหม่มากมาย หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจที่เกิดจากการพัฒนานี้คือการเก็บเกี่ยวพลังงานจากธรรมชาติ (Energy Harvesting) ซึ่งเป็นการรวบรวมพลังงานจากธรรมชาติเข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป [1] ผนวกกับความสนใจเกี่ยวกับพื้นผิวของทะเลที่กว้างถึง 2 ใน 3 ของพื้นผิวโลก หรือประมาณร้อยละ 72 ของพื้นผิวโลกทั้งหมด ซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษของโลกที่เราอาศัยกันอยู่ [2]

โดยทั่วไปในการเดินเรือ ต้องทำการดูคำพยากรณ์อากาศก่อนทำการออกเรือทุกครั้งเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากภัยธรรมชาติ โดยการพยากรณ์จะมีการวัดค่าต่างๆ จากสภาวะแวดล้อมในทะเล อาทิเช่น ทิศ และความเร็วลม ความสูงคลื่น และลักษณะของสภาพอากาศอื่นๆ [3] โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเหล่านี้มีการใช้พลังงานที่น้อย ถ้าสามารถออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล สภาวะแวดล้อมจริงที่ใช้ในการเก็บค่าของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ เราก็จะได้ระบบที่สามารถอยู่ได้ด้วยตัวของตัวเอง ที่ไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม และมีประโยชน์ต่อผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับทะเลได้

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ณ ปัจจุบันมีการคิดค้นเทคโนโลยีในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลหลายรูปแบบ อาทิเช่น การใช้ใบพัดมาเปลี่ยนรูปพลังงานจากการไหลของกระแสคลื่นเป็นพลังงานจลน์ ในรูปของการหมุนเพื่อนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือการนำพลังงานคลื่นมาผลักดันในแนวตั้งฉากกับแกนโลก เพื่อนำไปผลักดันกระบอกสูบอัดเข้าใบพัดเพื่อนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป [4] โดยมีทั้งขนาดเล็กใหญ่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ในโครงการนี้จึงทำการศึกษาเชิงทดลอง และออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล เพื่อสามารถนำผลจากการศึกษาไปใช้ในการพัฒนาระบบต่างๆ ทางทะเล ให้เป็นระบบที่สามารถพึ่งพาตัวเองโดยการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลมาเป็นพลังงานในการทำงานของระบบนั้นๆ และ

สามารถลดค่าใช้จ่าย และความไม่สะดวกของการดูแลรักษาระบบในทะเล เนื่องจากการดูแลรักษาระบบต่างๆ ที่อยู่กลางทะเลนั้นสามารถทำได้ยาก เพราะมีหลากหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง อาทิเช่น ความชื้นในอากาศ การเคลื่อนที่ตลอดเวลาของระบบเนื่องจากคลื่นทะเล และความห่างไกลของระบบจากชายฝั่ง เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา พัฒนา และออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลเพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์หรือระบบขนาดเล็กกลางทะเลโดยมีจุดประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลที่มีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาการทำงาน และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการแปรรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์
3. เพื่อพัฒนาการออกแบบเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ ให้สามารถใช้แทนที่แมกเนติกเจนเนอเรเตอร์ที่รอบการหมุนต่ำ

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลที่มีอยู่ในปัจจุบัน มีความหลากหลายที่น้อย โดยที่ทุกแบบจะเป็นการส่งถ่ายกำลังไปให้แมกเนติกเจนเนอเรเตอร์ เพื่อแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่ต้องทำให้เจนเนอเรเตอร์มีความเร็วเชิงมุมในการหมุนที่สูง การออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในการวิจัยนี้ จะเป็นการเพิ่มมุมมองใหม่สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล โดยการใช้เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ที่สามารถตอบสนองกับความเร็วเชิงมุมที่ต่ำ

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์สำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นน้ำของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดมุ่งหมายในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล ที่สามารถนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็ก โดยขอบเขตการศึกษาหลักในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยการศึกษาเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ และการศึกษาโครงสร้างสำหรับการส่งถ่ายกำลังเชิงกล

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณเน้นการปฏิบัติการ โดยมีกระบวนการศึกษาเริ่มจากการสืบค้นข้อมูลเชิงวิชาการจากแหล่งความรู้ต่างๆ อาทิ อินเทอร์เน็ต หนังสือ และเอกสารงานวิจัยต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางอ้างอิงในการศึกษา และพัฒนาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล จากนั้นจึงเริ่มทำการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล โดยลำดับในการออกแบบเริ่มจากการออกแบบเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ อุปกรณ์เก็บข้อมูลการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในสถานที่จริง และสิ้นสุดลงที่การออกแบบโครงสร้างในการเก็บเกี่ยวพลังงานที่จะทำการยึดอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยทำการออกแบบ และทดสอบอุปกรณ์ทีละส่วนเพื่อ

ตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงาน สุดท้ายจึงนำอุปกรณ์ทุกส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน และนำไปทดสอบเก็บเกี่ยวพลังงานในทะเล โดยอาจมีการปรับเปลี่ยนวิธีการตามความเหมาะสม

## 1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

ในปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาทั้งหมด 5 บทประกอบด้วยบทต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขตการศึกษา และรายละเอียดภาพรวมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล รวมถึงหลักการที่ใช้ในการออกแบบระบบ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ กล่าวถึงหลักการในการออกแบบระบบต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงวิธีการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ของระบบ ตลอดจนผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึงผลสรุป ผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

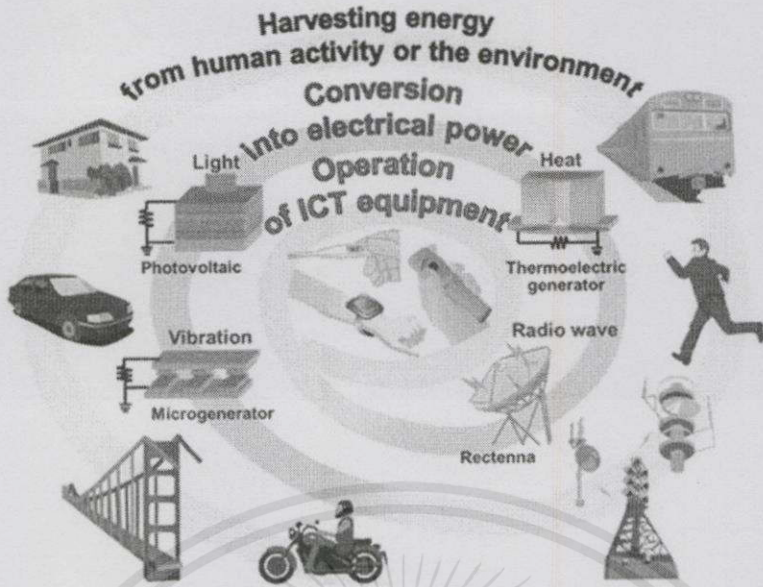
ในการออกแบบ และพัฒนาระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลจำเป็นต้องเข้าใจในทฤษฎี และหลักการ พื้นฐานที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านของกลศาสตร์ ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และศาสตร์ประยุกต์ อื่นๆ เนื่องจากระบบเก็บเกี่ยวพลังงานเป็นศาสตร์ที่คาบเกี่ยวกันระหว่าง กลศาสตร์ และไฟฟ้า โดยเราสามารถตรวจวัดค่าต่างๆ ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการออกแบบ อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลนั้นต้องใช้ทฤษฎี และหลักการต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy Harvesting) [1] เป็นกระบวนการรูปพลังงานจากธรรมชาติ และทำการกักเก็บรวบรวม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เมื่อมีพลังงานที่กักเก็บไว้มากพอ โดยมีความน่าสนใจดังคำพูดของคุณพรชัย สิลภาพรชัยกล่าวไว้ว่า “พลังงานมีอยู่ในทุกๆ ที่ ในสิ่งต่างๆ ที่แวดล้อมอยู่รอบตัวเรา มีทั้งอยู่ในรูปความร้อน พลังงานแสง พลังงานลม และพลังงานทางกล อย่างไรก็ตาม พลังงานจากแหล่งต่างๆ เหล่านี้มักจะมีปริมาณน้อย จนไม่สามารถนำมาป้อนเป็นพลังงานเพื่อการใช้งานใดๆ ได้ แต่ข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้กำลังจะเปลี่ยนไปด้วยการใช้เทคโนโลยี Energy Harvesting” [5] ดังเช่นที่คุณพรชัยกล่าวไว้ ณ ปัจจุบันเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานยังไม่สามารถทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าได้ เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานมักเป็นพลังงานที่มีปริมาณน้อย โดยทั่วไปมักนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานต่ำ (Low Power Electronics) อุปกรณ์อัตโนมัติไร้สาย (Wireless Autonomous Devices) หรือระบบเก็บข้อมูลแบบโครงข่ายไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นต้น

การเก็บเกี่ยวพลังงานสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ จากหลากหลายชนิดของอุปกรณ์ อาทิเช่น การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งความร้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermo Electric Generator; TEG) [6] การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นของวัตถุโดยใช้เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.1 โดยผู้วิจัยจะมุ่งเน้นทางการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล โดยอาศัยการงอตัวของเพียโซอิเล็กทริกเนื่องจากการการผลึกกันของสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร โดยจะอธิบายหลักการการทำงานในบทถัดไป

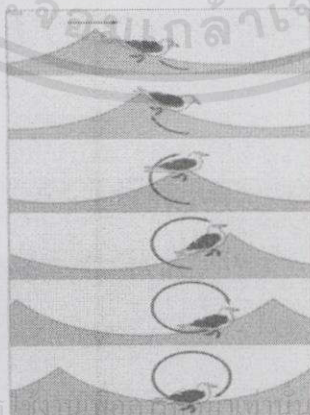
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ภาพรวมของการเก็บเกี่ยวพลังงาน [7]

2.1.1 คลื่นมหาสมุทร [8]

คลื่นในมหาสมุทรจัดเป็นคลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ที่มีรูปแบบหลากหลายแตกต่างกันตามต้นเหตุของการเกิด อาทิเช่น คลื่นที่เกิดจากแรงลม (Wind Wave) ซึ่งเป็นคลื่นที่เราสามารถพบเจอได้ง่ายที่สุด คลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศซึ่งเป็นคลื่นที่อยู่กับที่ (Standing Wave) เป็นต้น โดยพลังงานของคลื่นมหาสมุทรจะเคลื่อนตัวไปตามการเคลื่อนที่ของคลื่น แต่จะไม่นำพามวลน้ำเคลื่อนที่ไปด้วย โดยคลื่นมหาสมุทรนี้จะมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม (Orbit) โดยเราจะเรียกคลื่นในลักษณะนี้ว่า Orbital Wave ซึ่งมักเกิดบริเวณขอบเขตการเชื่อมต่อระหว่างตัวกลาง โดยคลื่นชนิดนี้จัดเป็นคลื่นแบบก้ำวหน้าชนิดหนึ่ง โดยสามารถทำความเข้าใจได้จากรูปที่ 2.2



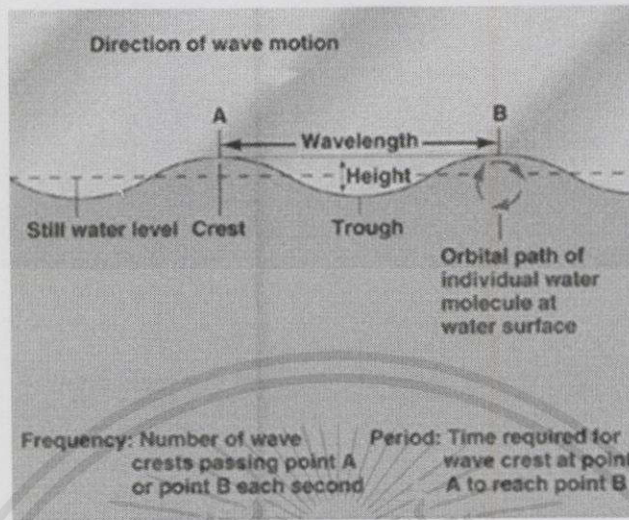
รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นมหาสมุทร [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.1 ส่วนประกอบของคลื่น

คลื่นทั่วไปจะมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.3 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของคลื่น [8]

1. ยอดคลื่น (Crest) คือ ส่วนที่สูงที่สุดของคลื่น
2. ท้องคลื่น (Trough) คือ ส่วนที่ต่ำที่สุดของคลื่น
3. ความสูงของคลื่น (Wave High : H) คือ ระยะห่างระหว่างยอดกับท้องของคลื่น
4. ความยาวคลื่น (Wave Length : L) คือ ระยะห่างระหว่างยอดคลื่นแรกกับยอดคลื่นถัดไป
5. คาบการเกิดคลื่น (Wave Period : T) คือ เวลาที่คลื่นหนึ่งลูกใช้ในการเคลื่อนผ่านจุดที่

กำหนด

6. ความเร็วคลื่น (Wave Speed : C) คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นหาได้จาก

$$C = L/T$$

เมื่อ C = ความเร็วคลื่น (เมตร/วินาที)

L = ความยาวคลื่น (เมตร)

T = คาบการเกิดคลื่น (วินาที)

7. ขนาดของคลื่น (Wave Amplitude : a) วัดจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ยสามารถหาได้จาก

$$a = H/2$$

เมื่อ a = ขนาดของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกประการ

จาก

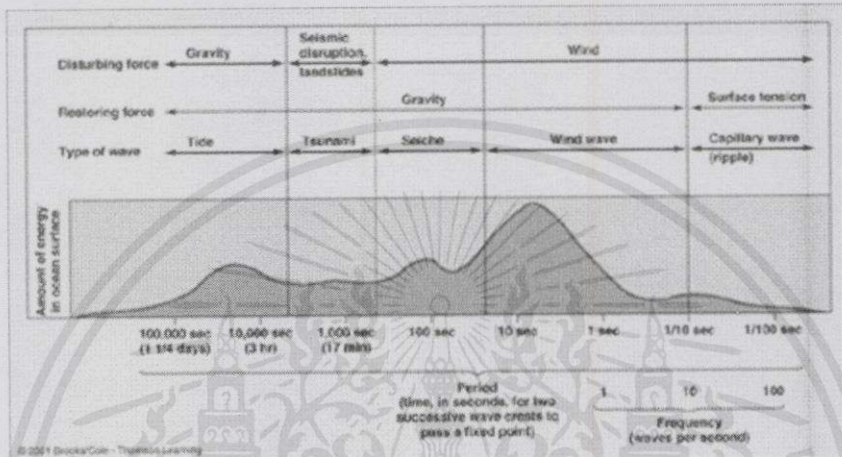
$$f = 2\pi/T$$

เมื่อ  $f$  = ความถี่ของคลื่น

$T$  = คาบของคลื่น

### 2.1.1.2 การจำแนกคลื่นมหาสมุทร

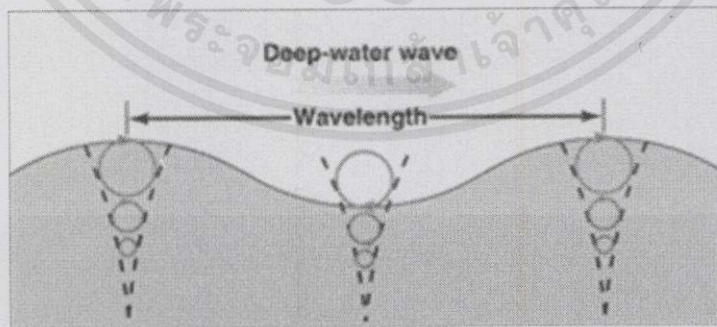
การจำแนกคลื่นมหาสมุทรสามารถจำแนกได้หลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น การจำแนกจากสาเหตุการเกิดของคลื่นมหาสมุทร หรือความยาวคลื่น เป็นต้น โดยสามารถดูตัวอย่างการจำแนกคลื่นได้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การจำแนกคลื่นจากตามแบบต่างๆ [8]

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้หลักเกณฑ์ในการจำแนกคลื่นด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความลึกของคลื่น โดยลักษณะของคลื่นจะสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทดังนี้

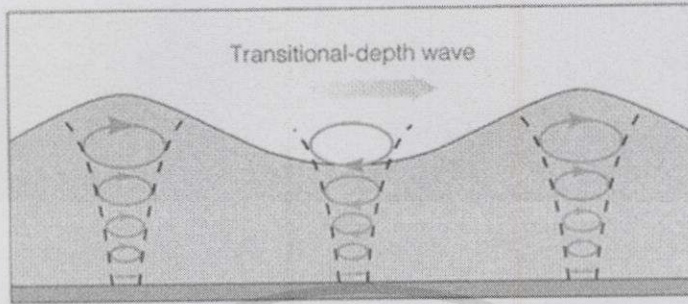
1. คลื่นน้ำลึก (Deep Water Waves) เป็นคลื่นที่มีความลึกมากกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างคลื่น วงของคลื่นจะมีลักษณะที่กลม และชั้นน้ำด้านล่างต่ำลงไปจากระดับนี้จะไม่ได้รับผลกระทบใดๆ โดยจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของคลื่นน้ำลึก [8]

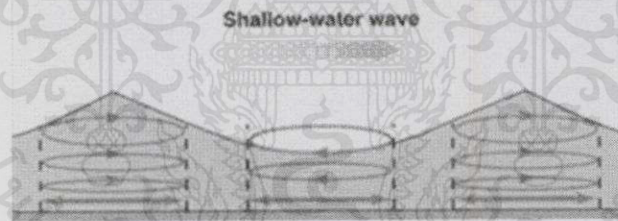
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลื่นส่งผ่าน (Transitional Water Waves) เมื่อคลื่นเดินทางมาจนมีความลึกน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น แต่ยังคงมากกว่า 1 ใน 20 ของความยาวคลื่น ลักษณะวงของคลื่นจะเปลี่ยนรูปจากวงกลมเป็นวงรีดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของคลื่นส่งผ่าน [8]

3. คลื่นน้ำตื้น (Shallow Water Waves) เป็นคลื่นที่เกิดจากลม (Wind Wave) เดินทางมาใกล้ชายฝั่ง มีความลึกน้อยกว่า 1 ใน 20 ของความกว้างคลื่น วงของคลื่นจะค่อยๆ แบนลง แต่จะมีขนาดความกว้างคงเดิมจนกระทั่งถึงพื้นทะเลน้ำ คลื่นจะไม่หมุนเป็นวงแต่จะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเท่านั้น โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการมุ่งเน้นศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นประเภทนี้เป็นหลัก



รูปที่ 2.7 ลักษณะของคลื่นน้ำตื้น [8]

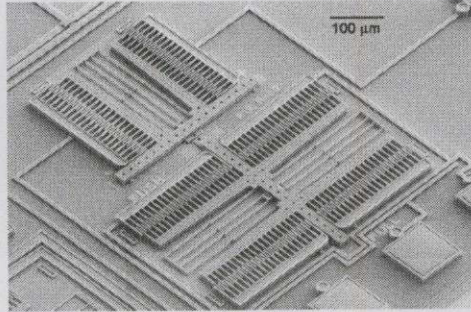
### 2.1.2 เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (Piezoelectric Generator) คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาคชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานกลให้มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.1.2.1 ระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค [9]

ระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค (Microelectromechanical Systems : MEMS) หรือในชื่ออื่นๆเช่น Microelectronic and Microelectromechanical Systems หรือ Micromachines คือ เอกสาร อุปกรณ์ขนาดเล็กที่นำอุปกรณ์ขนาดเล็กในช่วงระดับ ไมโครเมตร ( $10^{-6}$  เมตร หรือหนึ่งส่วนล้านเมตร) มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ในช่วง 20 ไมโครเมตร ถึงระดับมิลลิเมตร ( $10^{-3}$  หรือหนึ่งส่วนหนึ่งพันเมตร) โดยระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาคจะทำหน้าที่ในการแปลงรูปพลังงานจากพลังงาน

กลเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยความสามารถในการทำงานจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบของผู้ผลิตตั้งตัวอย่างในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค [10]

### 2.1.2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก [11]

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect) ถูกค้นพบโดย Pierre Curies โดยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกคือ ปรากฏการณ์ที่ผลึกควอตซ์ (Quartz), ดีเกลือ (Rochelle Salt), และอัญมณี (Tourmaline) สามารถให้กำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อมีแรงกดกระทำต่อผลึก ต่อมา Gabriel Lippmann ได้ค้นพบปรากฏการณ์ย้อนกลับของปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก โดยพิจารณาจากหลักเทอร์โมไดนามิกส์ โดยกล่าวไว้ว่า ถ้าทำการจ่ายไฟฟ้าเข้าไปในผลึก ผลึกก็จะสั้นได้ โดยลักษณะการเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกมีลักษณะดังรูปที่ 2.9

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกนี้จะเกิดขึ้นในคริสตัล (Crystal) กลุ่มที่มีศูนย์กลางไม่สมมาตร 20 กลุ่ม จากทั้งหมด 21 กลุ่ม โดยความไม่สมมาตรของศูนย์กลางนี้เอง เมื่อมีแรงมากระทำจะเป็นผลให้เกิดกระแสของอิเล็กตรอนขึ้น

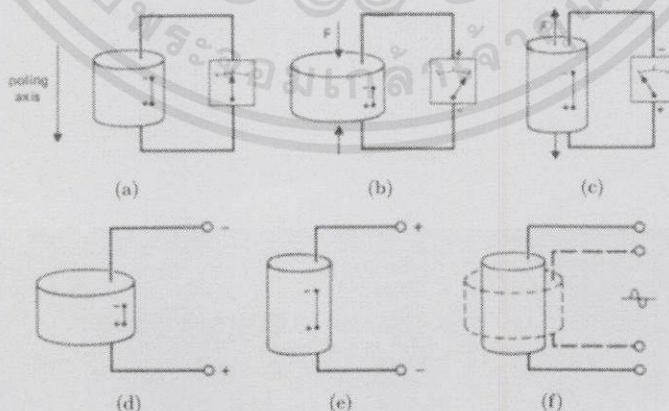


Figure 1 The Piezoelectric effect in a cylindrical body of piezoelectric ceramic (a) no load, (b) compressed, (c) stretched, (d) shorten, (e) lengthen, and (f) grow and shrink [51].

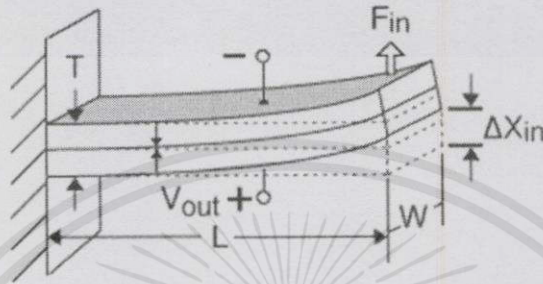
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ประโยชน์ของการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงงานของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก [12]

### 2.1.2.3 หลักการเปลี่ยนรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [13]

ในการเปลี่ยนรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์นั้น จะเป็นการแปรรูปพลังงานจากพลังงานในเชิงกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก ผ่านการกระตุ้นด้วยแรงที่มากระทำจากภายนอก หรือสามารถกล่าวโดยย่อได้ว่า เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์จะทำการเปลี่ยนรูป แรง และการเคลื่อนที่ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง โดยสามารถดูแผนภาพโดยย่อได้จากรูปที่ 2.10



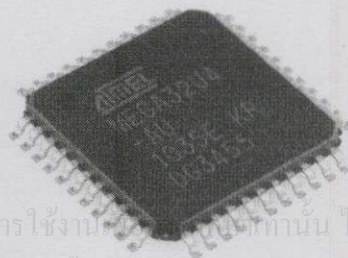
รูปที่ 2.10 การแปรรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [13]

## 2.2 อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

ในการตรวจสอบวัดค่าทางสถิติของพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ จากระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลโดยใช้เครื่องมือวัดทั่วไปทำได้ยาก จึงต้องทำการออกแบบอุปกรณ์เฉพาะที่จะนำมาใช้ในการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีความสะดวกในการวัดค่าโดยอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลในปริยายานพจน์นี้ได้ใช้ความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [14]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller : MCU,  $\mu C$ ,  $uC$ ) เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีขนาดเท่าวงจรรวม (Integrated Circuit : IC, Chip, Microchip) มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง ทำงานได้หลากหลายรูปแบบ มีลักษณะดังรูปที่ 2.11 โดยทั่วไปจะมีหน้าที่ในการประมวลผล และจัดการข้อมูล โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมการทำงานได้โดยอิสระ โดยในปริยายานพจน์นี้ได้ใช้ฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้



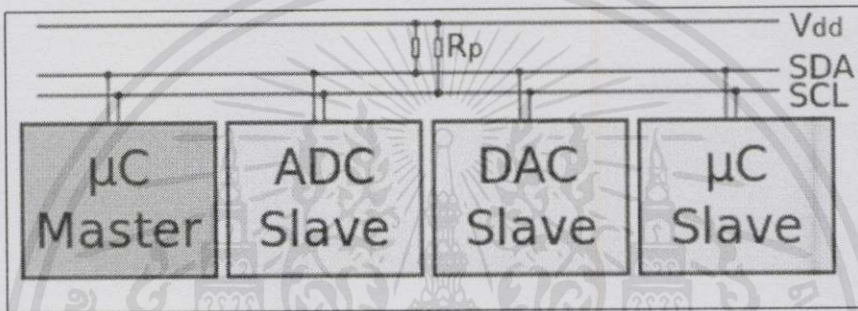
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ลักษณะทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ [15]

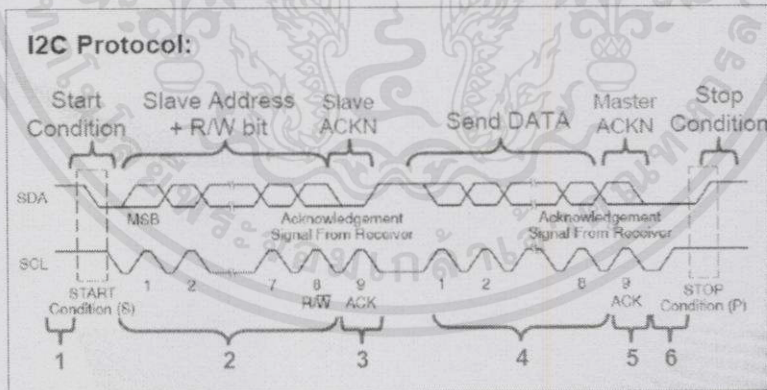
### 2.2.1.1 การติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C [16]

การติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C หรือการติดต่อสื่อสารแบบ Inter-Integrate Circuit ถูกคิดค้นโดยบริษัท Philips Semiconductor หรือปัจจุบันคือ บริษัท NXP Semiconductors โดยเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยกัน โดยการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C นี้จะเป็นการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม ใช้สายสัญญาณ 2 สายในการติดต่อสื่อสาร (ไม่นับสาย GND) คือสาย Serial Data Line (SDA) ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล และสาย Serial Clock Line (SCL) ทำหน้าที่ในการรับส่งสัญญาณนาฬิกา โดยสายสัญญาณทั้งสองสายจะต้องต่อพ่วงกับไฟเลี้ยง (5V หรือ 3.3V) ด้วยตัวต้านทานค่าประมาณ 50k $\Omega$  โดยในการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C นี้จะแบ่งอุปกรณ์ได้เป็น 2 ประเภทคือ มาสเตอร์ (Master) และสเลฟ (Slave) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภาพวงจรของการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C [16]

โดยลักษณะของสัญญาณการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C จะเป็นดังรูปที่ 2.13

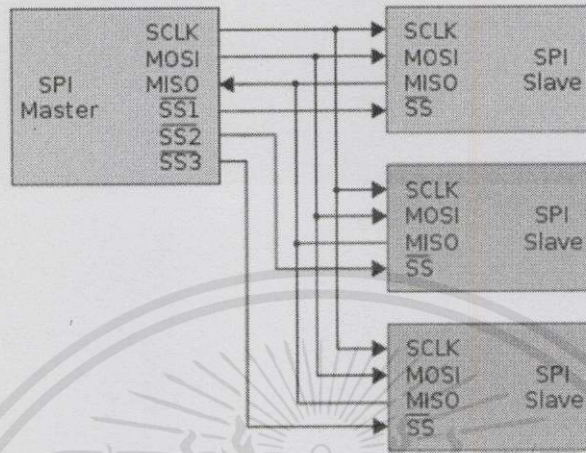


รูปที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณของการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C [17]

### 2.2.1.2 การติดต่อสื่อสารแบบ SPI [18]

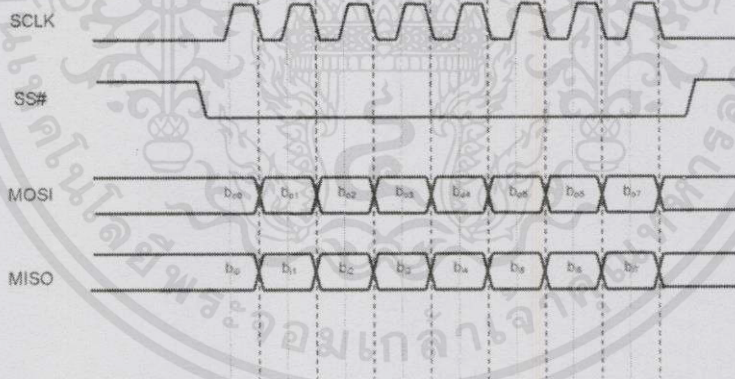
การติดต่อสื่อสารแบบ Serial Peripheral Interface (SPI) เป็นการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมรูปแบบหนึ่งที่ถูกคิดค้นโดยบริษัท Motorola โดยการสื่อสารแบบ SPI นี้จะใช้สายสัญญาณการสื่อสารทั้งหมด 4 เส้น (ไม่นับสาย GND) คือ สาย Serial Clock (SCK) จะทำหน้าที่ในการรับส่งสัญญาณนาฬิกา สาย Slave Select (SS, NSS, CS) จะเป็นสายที่มาสเตอร์ใช้ในการเลือกที่จะติดต่อสื่อสาร

กับสเลฟตัวที่ต้องการ สาย Master In Slave Out (MISO) เป็นสายที่ใช้ในการรับข้อมูลที่ส่งมาจากสเลฟของมาสเตอร์ และสาย Master Out Slave In (MOSI) เป็นสายที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากมาสเตอร์ไปที่สเลฟ โดยการติดต่อสื่อสารแบบ SPI นี้จะมีการต่อวงจรดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผนผังวงจรในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI [18]

โดยลักษณะของสัญญาณการติดต่อสื่อสารแบบ SPI จะเป็นดังรูปที่ 2.15

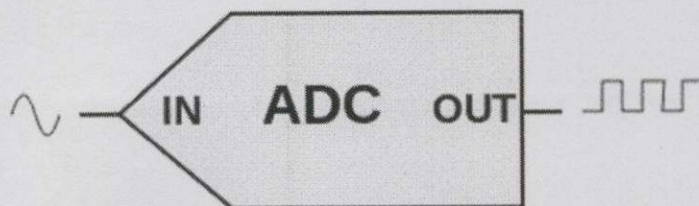


รูปที่ 2.15 สัญญาณในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI [19]

### 2.2.1.3 การแปลงค่าอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัล [20]

การแปลงค่าอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัล (Analog to Digital Converter : ADC, A/D, A to D) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงค่าของปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ โดยเฉพาะค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าแสดงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ดังรูปที่ 2.16

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของ ADC [20]

### 2.2.2 เอสดีการ์ด [21]

เอสดีการ์ด (SD Card) เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไปใช้ในการเก็บข้อมูลในรูปแบบต่างๆ โดยทั่วไปนิยมใช้เก็บข้อมูลในรูปแบบ Fat Format File โดยสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารได้ 2 แบบคือ การสื่อสารแบบ SPI และการสื่อสารแบบ SD โดยมีสายสัญญาณในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สายสัญญาณของ SD Card ในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI [22]

### 2.2.3 การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ในการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลสามารถหาจุดอ้างอิงในการทดสอบได้ยาก เนื่องจากการแปรปรวนตลอดเวลาของคลื่นทะเล ส่งผลให้ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวแปรอื่นนอกเหนือจากเวลา มาใช้ในการเปรียบเทียบ โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ปัจจัยเรื่องผลการตอบสนองต่อคลื่นทะเลของระบบในเชิงของกลศาสตร์ และการเคลื่อนที่เข้ามาพิจารณา โดยเลือกใช้การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยจะมีเนื้อหา และทฤษฎีต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.2.3.1 การวัดความเร่งเชิงเส้น และการวัดความเร็วเชิงมุม

ในการวัดความเร่งเชิงเส้น และการวัดความเร็วเชิงมุม มีความสำคัญอย่างมากในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยเบื้องต้นการวัดค่าความเร่งเชิงเส้นจะทำการตรวจวัดจากแอคเซเลอโรมิเตอร์ (Accelerometer) จะทำหน้าที่ในการวัดแรงที่เข้ามากระทำกับวัตถุ โดยจะช่วยให้สามารถทราบถึงแรงต่างๆ ที่มากระทำกับวัตถุ และตำแหน่งปัจจุบันของวัตถุโดยเทียบกับจุดเริ่มต้น ในขณะที่การวัดความเร็วเชิงมุมจะใช้ ไจโรสโคป (Gyroscope) ในการวัด เพื่อช่วยในการอธิบายถึงลักษณะการหมุนตัวของระบบตามแนวแกนอ้างอิงต่างๆ

### 2.2.3.2 การวัดตำแหน่งเชิงมุม [23]

ในการวัดตำแหน่งเชิงมุมเราสามารถวัดได้จากหลากหลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะมีวิธีการนำข้อมูลจากแอกเซลโรมิเตอร์ และหรือไจโรสโคปมาใช้ในวิธีที่แตกต่างกันโดยหลักๆ จะมีรูปแบบดังต่อไปนี้

1. การใช้แอกเซลโรมิเตอร์เพียงอย่างเดียว เราสามารถทำได้โดยการนำค่าความเร่งในเชิงเส้นมาคำนวณหาตำแหน่งเชิงมุมปัจจุบันโดยเทียบกับแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านทางฟังก์ชันทางตรีโกณมิติ อาทิ ฟังก์ชันไซน์ (Sine) ฟังก์ชันโคไซน์ (Cosine) หรือฟังก์ชันแทนเจนต์ (Tangent) ข้อดีของวิธีนี้คือจะได้ตำแหน่งเชิงมุมของระบบโดยอ้างอิงกับทิศทางของโลก ข้อเสียคือจะทำงานได้ไม่ดีเมื่อระบบมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพราะจะมีการรบกวนจากความเร่งในแกนอ้างอิงต่างๆ

2. การใช้ไจโรสโคปเพียงอย่างเดียว จากที่กล่าวมาข้างต้นไจโรสโคปเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความเร็วเชิงมุมอยู่แล้ว วิธีการที่จะนำมาใช้วัดตำแหน่งเชิงมุมคือการนำมาอินทิเกรตเพื่อหาตำแหน่งเชิงมุม ข้อดีคือ ง่ายแก่การคำนวณ ข้อเสียคือ ไม่สามารถอ้างอิงกับแกนโลกได้เนื่องจากทำได้เพียงอ้างอิงจากจุดเริ่มต้นเพียงเท่านั้น และทำงานได้ไม่ดีเมื่อระบบมีการเคลื่อนที่เชิงมุมที่น้อย เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเชิงมุม

3. การวัดจุดเริ่มต้นของระบบโดยใช้แอกเซลโรมิเตอร์ และวัดตำแหน่งอื่นๆ โดยใช้ไจโรสโคป เป็นการเริ่มอ้างอิงระบบให้ตรงกับแกนโลกโดยใช้การเทียบกับแรงดึงดูดของโลก แล้วทำการตรวจวัดตำแหน่งอื่นๆ โดยใช้การอินทิเกรตค่าจากไจโรสโคป ข้อดีคือ มีการปรับปรุงข้อเสียจากการวัดทั้งสองแบบแรกทำให้ระบบมีความเที่ยงตรงขึ้นบ้าง และสามารถอ้างอิงกับแกนอ้างอิงของโลกได้ แต่ยังคงมีข้อเสียเดิมที่ระบบทำงานได้ไม่ดี เมื่อมีการเคลื่อนที่ที่มากตอนเริ่มต้นในการอ้างอิงแกนโลกของแอกเซลโรมิเตอร์ และการเคลื่อนที่ที่น้อยช่วงตอนทำงานของไจโรสโคป

4. คาลมานฟิลเตอร์ (Kalman Filter) เป็นการนำตัวกรองมีกรองข้อมูลรบกวนจากอุปกรณ์วัดทั้งไป และได้ค่าที่แม่นยำของระบบ ข้อดีคือ สามารถอธิบายข้อมูลการเคลื่อนที่ต่างๆ ของระบบได้อย่างแม่นยำ มีการชดเชยของความคลาดเคลื่อนของการวัดค่า และระบบ ข้อเสียคือต้องรู้โมเดลคณิตศาสตร์ของระบบที่ถูกต้อง และต้องทราบพิกคณิตเชิงเส้นเป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีการคำนวณ และการออกแบบที่ซับซ้อนทำให้ยากแก่การศึกษา

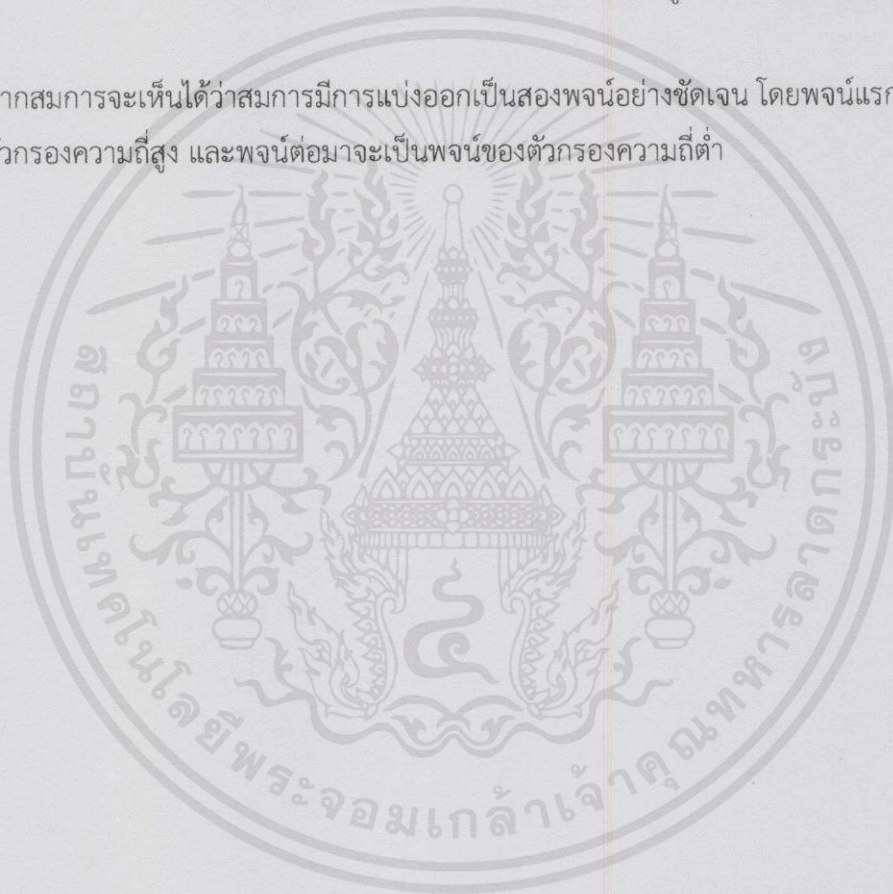
5. คอมพลีเมนทารีฟิลเตอร์ (Complementary Filter) เป็นการนำค่าที่ได้จากแอกเซลโรมิเตอร์ และไจโรสโคปมารวมกันผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ที่ผสมผสานระหว่างตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter) และตัวกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) โดยมีข้อดีที่ง่ายแก่การศึกษา สามารถลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ ใช้การประมวลผลของข้อมูลที่น้อย และไม่จำเป็นต้องทราบโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบ ข้อเสียยังต้องทราบความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับตัวคัดกรอง แต่ไม่มากเท่าของคาลมานฟิลเตอร์ โดยมีสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$angle_n = \alpha(angle_{n-1} + gyro \times dt) + (1 - \alpha)(\arctan\left(\frac{acc_a}{acc_b}\right))$$

- เมื่อ  $angle_n$  = ตำแหน่งเชิงมุมปัจจุบันของระบบ  
 $angle_{n-1}$  = ตำแหน่งเชิงมุมปัจจุบันของระบบ  
 $gyro$  = ค่าความเร็วเชิงมุมรอบแกน n ที่อ่านได้จากไจโรสโคป  
 $dt$  = ระยะห่างของเวลาในการเก็บข้อมูล  
 $acc_a$  = ค่าที่อ่านได้จากแอกเซลอโรมิเตอร์ในแนวแกน a  
 $acc_b$  = ค่าที่อ่านได้จากแอกเซลอโรมิเตอร์ในแนวแกน b  
 $\alpha$  = ค่าคงที่จากการออกแบบตัวกรองความถี่สูง และตัวกรองความถี่ต่ำ

จากสมการจะเห็นว่าสมการมีการแบ่งออกเป็นสองพจน์อย่างชัดเจน โดยพจน์แรกจะเป็น ส่วนของตัวกรองความถี่สูง และพจน์ต่อมาจะเป็นพจน์ของตัวกรองความถี่ต่ำ



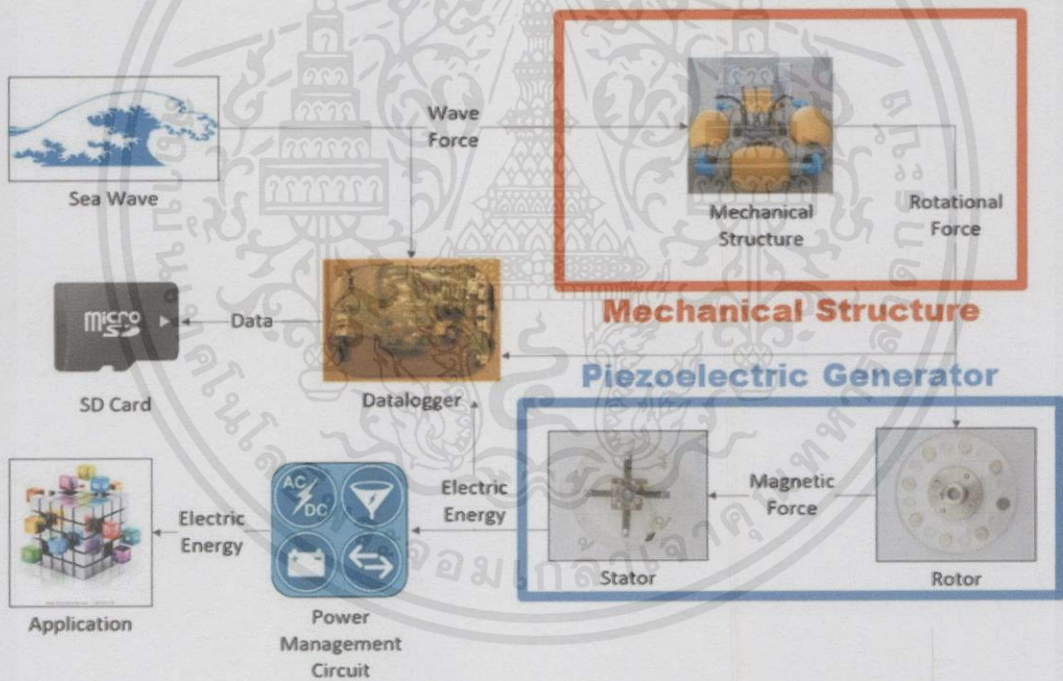
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการออกแบบ

ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล ในเบื้องต้นต้องเข้าใจลักษณะการเกิดคลื่นของคลื่นทะเล และคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ เพื่อให้สามารถออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลได้อย่างเหมาะสม

จากการศึกษาเบื้องต้น ผู้วิจัยพบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคลื่นทะเล ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบทุกส่วนควบคู่กันไป โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีการศึกษาทั้งสิ้น 3 ส่วน ประกอบด้วย การศึกษาเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ การศึกษาโครงสร้างในการส่งถ่ายพลังงาน และการศึกษาอุปกรณ์เก็บข้อมูล โดยการศึกษาทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์ดังแผนผังในรูปที่ 3.1



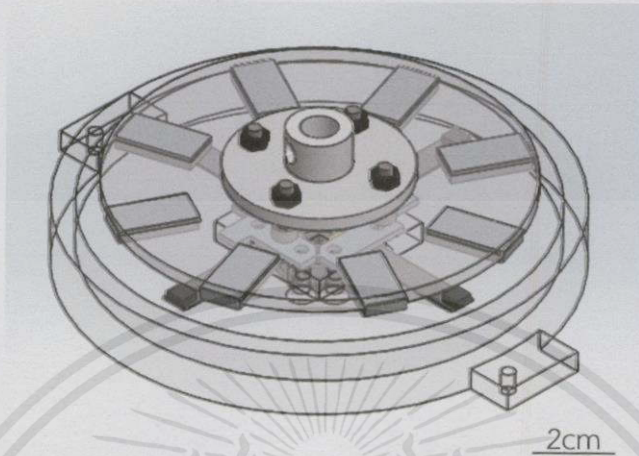
รูปที่ 3.1 แผนผังโดยรวมของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

### 3.1 เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปพลังงานจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการของการงอตัวของเพียโซอิเล็กทริก แทนที่การตัดผ่านสนามแม่เหล็กของขดลวด เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการส่งถ่ายกำลังจากการเคลื่อนที่แบบหมุนในรอบที่ต่ำ และการส่งถ่ายกำลังจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก โดยในการศึกษา และออกแบบเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.1.1 ส่วนประกอบของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

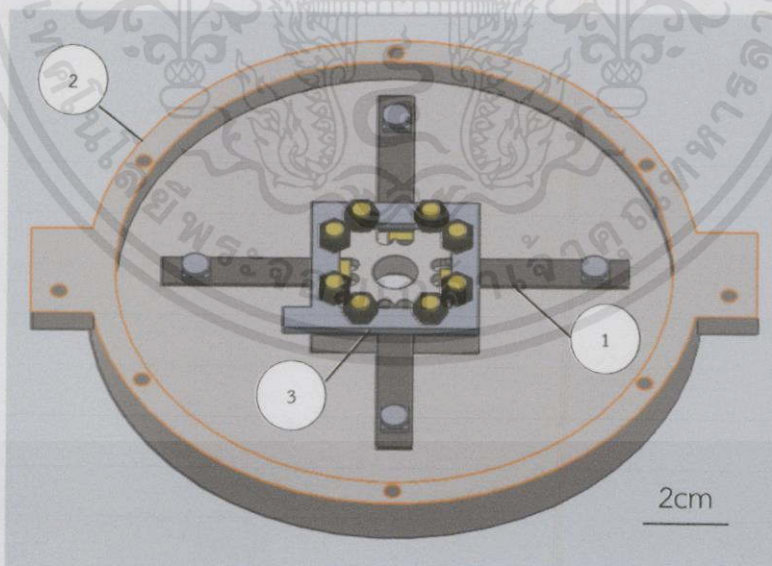
เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์จะมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือส่วนของสเตเตอร์ และ ส่วนของโรเตอร์ มีลักษณะโดยรวมดังรูปที่ 3.2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างทั้งหมดของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

#### 3.1.1.1 ส่วนสเตเตอร์ (Stator)

เป็นส่วนที่ไม่มี การเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ในการเป็นจุดอ้างอิงของการเคลื่อนที่ของเพลลา และ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก อีกทั้งเป็นส่วนยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเข้ากับสายไฟเพื่อ ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไป มีลักษณะโดยรวมดังรูปที่ 3.3 โดยมีส่วนประกอบย่อย 3 ส่วนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างโดยรวมของส่วนสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้เขียนไม่รับผิดชอบต่อผลที่เกิดขึ้นจากเอกสารที่ปรากฏในเอกสารนี้

1. เพียโซอิเล็กทริก เป็นส่วนที่ใช้ในการแปรรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ประกอบไปด้วยแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ยึดแม่เหล็กชิ้นเล็กๆ โดยแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้จะเป็นเพียโซอิเล็กทริก

ชนิด PZT ของทางบริษัท Piezo Systems โดยทางผู้วิจัยเลือกใช้รุ่น T220-A4-203X เนื่องจากมีความแข็งแรง และประสิทธิภาพในการแปลงค่าพลังงานที่เหมาะสมในการทดลอง และสามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป โดยมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.1 และผู้วิจัยได้ทำการยึดแม่เหล็กขนาดเล็กเข้ากับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกดังรูปที่ 3.4 โดยให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก และจุดศูนย์กลางแม่เหล็กของส่วนโรเตอร์ตรงกันเพื่อให้สามารถส่งถ่ายกำลังได้สูงสุด



รูปที่ 3.4 ลักษณะเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ยึดติดกับแม่เหล็กขนาดเล็ก

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลต่างๆ ของเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ของบริษัท Piezo Systems [24]

**2-PIEZO LAYER EXTENSION GENERATORS**  
**STANDARD - BRASS REINFORCED**

PERFORMANCE: BRASS SHIM EXTENSION GENERATORS						VALUES TO BE USED AS GUIDELINES				
PART NUMBERS (BRASS REINFORCED EXTENDER)		WEIGHT (grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF)		RATED TIP DEFLECTION (µm/peak)	RATED FREQUENCY (Hz)	OPEN CIRCUIT VOLTAGE (V/peak)	CLOSED CIRCUIT CLASSIFY (µA/peak)	RATED OUTPUT POWER (mW/mm)
Y-poled for series extension operation (2 wire)	X-poled for parallel extension operation (3 wire)			(Series Operation)	(Parallel Operation)					
<b>.015" (.38mm) Thick</b>										
T215-A4-103Y	T215-A4-103X	.30	2x10 <sup>6</sup>	5	20	± 13	1000	± 57	± 5	36
T215-A4-203Y	T215-A4-203X	.60	3x10 <sup>6</sup>	10	40	± 13	1000	± 57	± 11	78
T215-A4-303Y	T215-A4-303X	1.2	6x10 <sup>6</sup>	20	80	± 13	1000	± 57	± 21	150
T215-A4-503Y	T215-A4-503X	6.0	8x10 <sup>6</sup>	100	400	± 25	500	± 57	± 110	392
T215-H4-103Y	T215-H4-103X	.30	2x10 <sup>6</sup>	8	32	± 13	1000	± 47	± 8	47
T215-H4-203Y	T215-H4-203X	.60	3x10 <sup>6</sup>	16	64	± 13	1000	± 47	± 17	100
T215-H4-303Y	T215-H4-303X	1.2	6x10 <sup>6</sup>	32	128	± 13	1000	± 47	± 33	194
T215-H4-503Y	T215-H4-503X	6.0	8x10 <sup>6</sup>	160	640	± 25	500	± 47	± 172	510
<b>.020" (.51mm) Thick</b>										
T220-A4-103Y	T220-A4-103X	.40	2x10 <sup>6</sup>	3.5	14	± 13	1500	± 82	± 5	77
T220-A4-203Y	T220-A4-203X	.80	4x10 <sup>6</sup>	7	29	± 13	1500	± 82	± 11	170
T220-A4-303Y	T220-A4-303X	1.6	9x10 <sup>6</sup>	15	58	± 13	1500	± 82	± 21	320
T220-A4-503Y	T220-A4-503X	8.0	11x10 <sup>6</sup>	73	292	± 25	750	± 82	± 110	850
T220-H4-103Y	T220-H4-103X	.40	2x10 <sup>6</sup>	6	24	± 13	1500	± 67	± 8	100
T220-H4-203Y	T220-H4-203X	.80	4x10 <sup>6</sup>	12	48	± 13	1500	± 67	± 17	210
T220-H4-303Y	T220-H4-303X	1.6	9x10 <sup>6</sup>	24	96	± 13	1500	± 67	± 33	410
T220-H4-503Y	T220-H4-503X	8.0	11x10 <sup>6</sup>	120	480	± 25	750	± 67	± 172	1,100

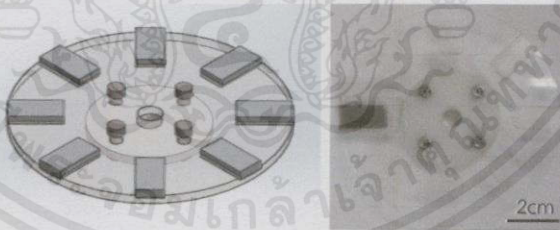
2. ส่วนโครงสร้างทางกลศาสตร์ เป็นส่วนที่ใช้อยู่กับอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน และเป็นจุดอ้างอิง

ของเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ทั้งหมด โดยในส่วนนี้ใช้วัสดุในการสร้างเป็น อะคริลิก เนื่องจากมีเนื้อวัสดุที่ใส ทำให้ง่ายต่อการสังเกตพฤติกรรม และการเคลื่อนที่ของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ง่าย อีกทั้งยังมีความแข็งแรงทนทานที่สูง

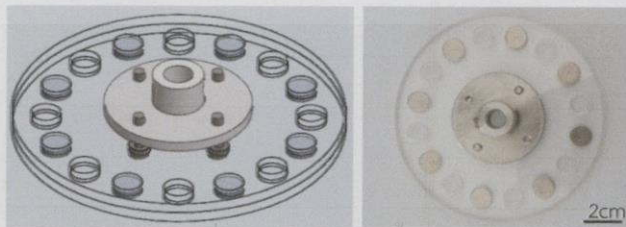
3. ส่วนโครงสร้างทางไฟฟ้า เป็นส่วนที่ใช้ในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าอื่นๆต่อไป จะเป็นแผ่นวงจรเคลือบตะกั่วประกบด้านบน และด้านล่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อลดการทำลายพื้นผิวของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก เนื่องจากการบัดกรี

### 3.1.1.2 ส่วนโรเตอร์ (Rotor)

เป็นส่วนที่รับพลังงานมาจากภายนอก และส่งกำลังให้กับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกโดยส่งผ่านทางแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรที่ติดอยู่ เพื่อไปผลักให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกคงที่เพื่อแปรรูปพลังงานไฟฟ้าต่อไปประกอบไปด้วย แม่เหล็กถาวร แผ่นอะคลิลิกที่ใช้ในการยึดแม่เหล็กเข้าด้วยกัน และหน้าแปลนที่ใช้ยึดส่วนโรเตอร์เข้ากับเพลลา วิธีการยึดแม่เหล็กมีหลักการยึดโดยให้แม่เหล็กของส่วนโรเตอร์ไปผลักแม่เหล็กส่วนสเตเตอร์ ดังนั้นการยึดแม่เหล็กจึงยึดให้ทิศทางของแม่เหล็กทั้งหมดหันเข้าด้านเดียวกันโดยไม่มีการสลับทิศทางของแม่เหล็ก เนื่องจากการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของแม่เหล็ก และพลังงานเอาต์พุตจึงมีส่วนโรเตอร์หลัก 2 แบบ โดยแบบที่ 1 เป็นโมดูล A เลือกใช้แม่เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $9.2 \times 17.5 \times 3 \text{ mm}^3$  โดยมีจำนวนแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 6 แบบ คือ แม่เหล็ก 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 ก้อน โดยจะเรียกว่าโมดูลเหล่านี้ว่าโมดูล A01, A02, A03, A04, A06 และ A08 ตามลำดับ มีลักษณะตัวอย่างดังรูปที่ 3.5 และแบบที่ 2 เลือกใช้แม่เหล็กทรงกระบอกขนาด  $\varnothing 8 \times 3 \text{ mm}^3$  และ  $\varnothing 9.5 \times 3 \text{ mm}^3$  โดยมีจำนวนแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลองสองแบบ คือ 8 และ 16 ก้อน โดยจะเรียกโมดูลที่ใช้แม่เหล็กทรงกระบอกขนาด  $\varnothing 8 \times 3 \text{ mm}^3$  จำนวน 8 และ 16 ก้อนว่าโมดูล B01 และ B02 และจะเรียกโมดูลที่ใช้แม่เหล็กทรงกระบอกขนาด  $\varnothing 9.5 \times 3 \text{ mm}^3$  จำนวน 8 และ 16 ก้อนว่าโมดูล B11 และ B12 ตามลำดับ มีรูปตัวอย่างดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 โครงสร้างตัวอย่างของส่วนโรเตอร์โมดูล A08

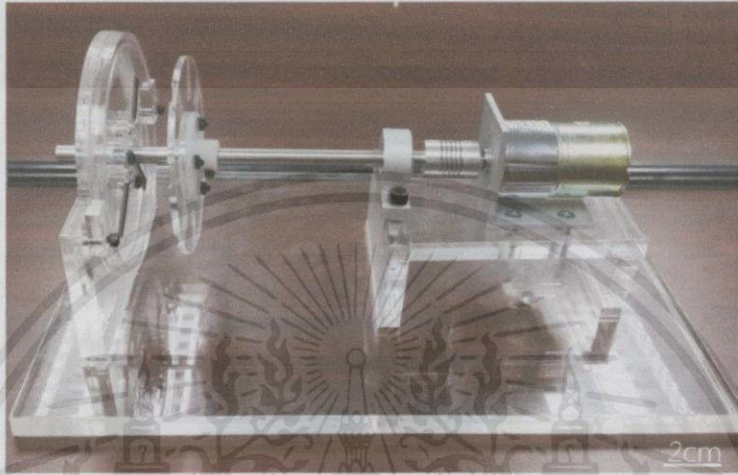


รูปที่ 3.6 โครงสร้างตัวอย่างของส่วนโรเตอร์โมดูล B01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ชุดทดสอบเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

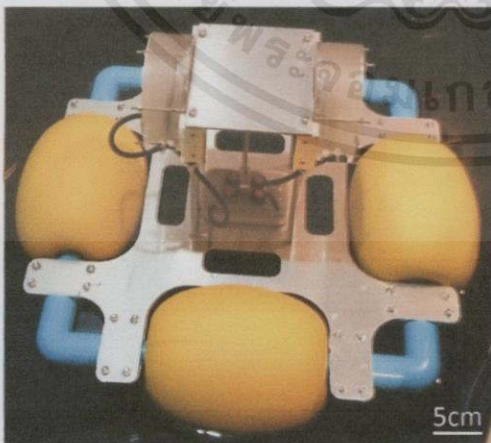
เป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติ และประสิทธิภาพของเพียโซเจนเนอเรเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการส่งถ่ายพลังงานจำลอง และควบคุมสถานะของชุดทดลองเพื่อให้มีความคงที่ของข้อมูล และได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุดเพื่อนำข้อมูลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกันได้ มีลักษณะดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของชุดทดสอบและเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

### 3.2 โครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

ในการแปรรูปพลังงานกลจากคลื่นทะเล เป็นพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องมีระบบส่งแรงจากคลื่นทะเลไปขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.8 โดยมีรายละเอียดหลักๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 โครงสร้างในการส่งถ่ายพลังงานโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

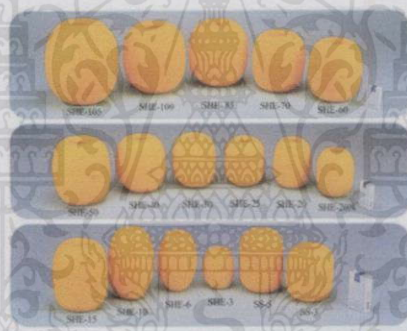
### 3.2.1 หลักการทำงาน

การทำงานของโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานนี้จะทำการรับพลังงานจากคลื่นทะเลผ่านทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยหลักการของแรงลอยตัว จากนั้นจึงส่งพลังงานที่ได้ไปตามโครงสร้างของวัตถุแข็งเกร็งเพื่อส่งแรงไปกระทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ และให้ลูกตุ้มทำการส่งถ่ายพลังงานกลแบบฮาร์โมนิกไปที่เพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อแปรรูปพลังงานต่อไป

### 3.2.2 ส่วนประกอบ

ส่วนประกอบของโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ทุ่นลอยน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้ระบบสามารถลอยอยู่บนทะเล และเป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังจากคลื่นทะเลมาสู่ระบบผ่านแรงลอยตัว โดยผู้วิจัยเลือกใช้ทุ่นลอยน้ำของบริษัท Samhwa Fishing Industrial Co., Ltd รุ่น SHE-20 เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายอุปกรณ์ทำการประมงทั่วไป มีขนาดเล็กพอเหมาะ อีกทั้งมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสม มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.9 ทุ่นลอยแบบต่างๆ ของบริษัท Samhwa Fishing Industrial Co., Ltd [25]

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทุ่นลอยแบบต่างๆ ของบริษัท Samhwa Fishing Industrial Co., Ltd [25]

ArticleNumber	Specification(±5%)			Contents in 20FT Container	Colour
	L x OD x HD(mm)	WT(g)	Buoyancy(g)		
SHE-105	320 x 295 x 70	2,150	15,000		Yellow
SHE-100	285 x 260 x 50	1,514	10,000	1,344pcs	Yellow
SHE-85	265 x 248 x 48	1,314	8,500	1,632pcs	Yellow
SHE-70	250 x 220 x 42	1,000	7,000	2,340pcs	Yellow
SHE-60	240 x 215 x 42	874	6,000	2,650pcs	Yellow
SHE-50	225 x 202 x 40	786	5,000	3,000pcs	Yellow
SHE-40	208 x 185 x 37	585	3,800	4,032pcs	Yellow
SHE-30	190 x 158 x 33	447	2,980	5,880pcs	Yellow
SHE-25	180 x 147 x 28	350	2,400	7,200pcs	Yellow
SHE-20	178 x 135 x 28	265	1,680	8,040pcs	Yellow
SHE-20N	178 x 135 x 28	265	1,700	8,040pcs	Yellow
SHE-15	160 x 125 x 28	235	1,500	10,800pcs	Yellow
SHE-10	170 x 110 x 20	180	950	13,200pcs	Yellow/White
SHE-6	146 x 94 x 20	93	616	22,200pcs	Yellow/White
SHE-3	101 x 78 x 20	46	300	44,400pcs	Yellow/White
SS-5	155 x 110 x 25	170	1,100	13,200pcs	Yellow/White
SS-3	130 x 110 x 25	140	920	13,200pcs	Yellow/White

2. ท่อ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดหุ่นลอยเข้ากับตัวระบบ อีกทั้งยังสามารถช่วยในการลอยตัวได้ มีราคาถูก โดยผู้จัดทำเลือกใช้ท่อพีวีซีเบอร์ 20 (20cm, ¾ นิ้ว) เนื่องจากสามารถใส่ในแกนกลางของหุ่นลอยได้พอดี
3. ข้อต่อท่อ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดท่อเข้าด้วยกัน
4. กิ๊บจับท่อพีวีซี ใช้ในการจับยึดท่อเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมฐาน
5. แผ่นอลูมิเนียมฐาน ใช้ในการยึดอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยทำการเจาะเป็นรูขนาดสี่เหลี่ยมตรงกลางเพื่อใส่กล่องเก็บข้อมูล และเจาะรูสี่เหลี่ยมด้านอื่นๆ เพื่อให้ น้ำทะเลสามารถไหลผ่าน
6. เสาคือ เป็นเสาเสตนเลสทำหน้าที่ในการส่งถ่ายพลังงานจากแผ่นอลูมิเนียมฐานไปที่ลูกตุ้ม
7. ที่ยึดเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ ทำหน้าที่ยึดเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ และเอ็นโคเดอร์เข้ากับตัวระบบ
8. ลูกปืน ทำหน้าที่ช่วยให้ลูกตุ้มหมุนคล่องตัวโดยผู้วิจัยเลือกใช้ เบอร์ 8060 แบบกันน้ำ
9. ตัวยึดแกน ทำหน้าที่ยึดไม่ให้แกนของลูกตุ้มเคลื่อนที่
10. แกนหมุน ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังจากลูกตุ้มไปที่เพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์
11. ลูกตุ้ม ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานจากแผ่นอลูมิเนียมฐานเป็นพลังงานในการหมุน

### 3.3 ชุดเก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

เป็นชุดเก็บค่าตัวแปรที่สนใจเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างในการส่งถ่ายพลังงาน เนื่องจากเป็นการยากที่จะนำอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ มาใช้ในการวัดค่าข้อมูลที่ต้องการกลางทะเล เนื่องจากความชื้น ความสามารถในการนำไฟฟ้า และความสามารถในการกัดกร่อนของน้ำทะเล มีลักษณะดังรูปที่ 3.10

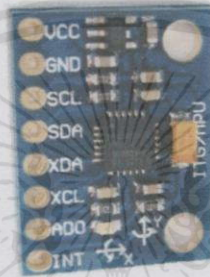


รูปที่ 3.10 ลักษณะอุปกรณ์เก็บข้อมูลในการส่งถ่ายพลังงานในภาพรวม

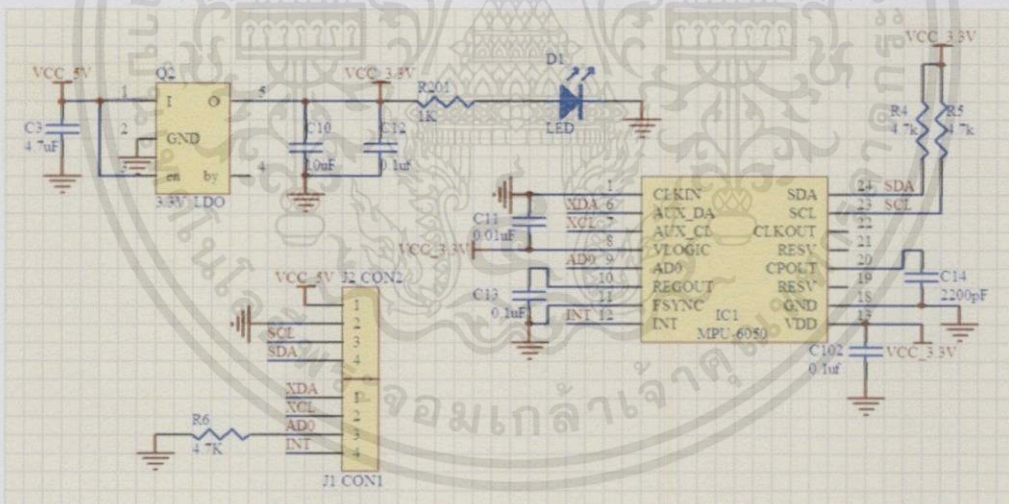
จากรูปที่ 3.11 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าการทากาวเทียนบริเวณด้านบน และด้านล่างวงจรของอุปกรณ์เก็บข้อมูลในการส่งถ่ายพลังงานในภาพรวม เพื่อป้องกันวงจรช็อตกันเนื่องจากการรั่วซึมของกล่อง โดยเป็นการป้องกันระดับที่ 2 ในกรณีที่อุตรรอยรั่วไม่ครบโดยชุดเก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานนี้ประกอบไปด้วย 5 ส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของระบบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนที่ทั้งในเชิงเส้น และเชิงมุมของระบบโดยทำการวัดค่าผ่านอุปกรณ์วัดค่าความเร่งเชิงเส้น (Accelerometer) และอุปกรณ์วัดค่าความเร็วเชิงมุม (Gyro Scope) จากนั้นทำการคิดผ่านกระบวนการประมวลผลทางตัวเลข เพื่อนำไปวิเคราะห์ และแปลความหมายในคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้บอร์ด Gy-521 ที่ใช้ชิพ MPU6050 ของบริษัท InvenSense ที่มีทั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งเชิงเส้น และอุปกรณ์วัดค่าความเร็วเชิงมุม อย่างละ 3 แกนในชิพตัวเดียวทำให้มีราคาที่ถูก ขนาดเล็ก และใช้งานง่าย โดยสามารถสื่อสารผ่านการติดต่อสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C มีลักษณะดังรูปที่ 3.11 มีแผนผังวงจรภายในดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ลักษณะบอร์ด Gy-521 [26]



รูปที่ 3.12 แผนผังวงจรของบอร์ด Gy-521 [26]

### 3.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการหมุนของลูกตุ้ม

เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่เชิงมุมของลูกตุ้มโดยใช้ เอ็นโค้ดเดอร์แบบจานหมุน เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปออกแบบเพียโซเจเนอเรเตอร์ต่อไป โดยเอ็นโค้ดเดอร์จะจ่ายสัญญาณนาฬิกาเพื่อใช้ในการนับต่อไป

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดการเก็บเกี่ยวพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าทางไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ว่า ระบบมีความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างไร ประกอบไปด้วย วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ วงจรขาดไฟเพื่อเก็บในตัวเก็บประจุ และวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นค่าทางดิจิทัล โดยจะอยู่ในวงจรหลักของชุดเก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

### 3.3.4 อุปกรณ์เก็บข้อมูล

เป็นอุปกรณ์ที่ทำการเก็บข้อมูลที่วัดค่าได้จากการทดลองของอุปกรณ์ตรวจวัดมาเก็บไว้ โดยทางผู้วิจัยเลือกใช้ SD-card เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้มากสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ง่าย ส่งผลให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป โดย SD-card จะทำการติดต่อสื่อสารผ่านการติดต่อสื่อสารแบบ SPI

### 3.3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

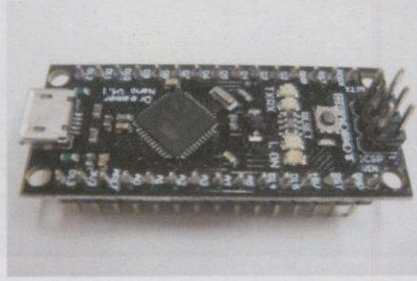
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล และจัดการข้อมูลต่างๆ โดยมีหน้าที่ในการอ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์รับค่าต่างๆ ในที่นี้คือ อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ อุปกรณ์ตรวจวัดการหมุนของลูกตุ้ม และอุปกรณ์ตรวจวัดการเก็บเกี่ยวพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ โดยจะนำค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ทั้งสามมาเก็บไว้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูล หรือ SD-card เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้อ่านจากการทดลองมาตีความ และประมวลผลต่อไปในคอมพิวเตอร์ โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้บอร์ด DFRobot Dreamer Nano V4.0 ของ DFRobot ที่ใช้ชิพ Atmega32U4 ของบริษัท Atmel ในการประมวลผล เพื่อเทียบเคียงบอร์ด Arduino Leonardo ของ Arduino เนื่องจากง่ายในการพัฒนา มีความทนทานที่ดี และมีทรัพยากรเบื้องต้นที่ต้องการรวมอยู่ครบ โดยบอร์ด DFRobot Dreamer Nano V4.0 มีลักษณะดังรูปที่ 3.13 และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [27]

1. Microcontroller : ATmega32u4
2. Operating Voltage : 5V
3. Input Voltage (recommended) : 6.5 – 12 V (VIN) / 5 V (Micro USB)
4. Input Voltage (limits) : 6 – 12 V
5. Digital I/O Pins : 20
6. PWM Channels : 7
7. Analog Input Channels : 12
8. DC Current per I/O Pin : 40 mA
9. DC Current for 3.3V Pin : 50 mA
10. Flash Memory : 32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
11. SRAM : 2.5 KB (ATmega32u4)
12. EEPROM : 1 KB (ATmega32u4)
13. Clock Speed : 16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้อัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Compatible with most of Nano shield

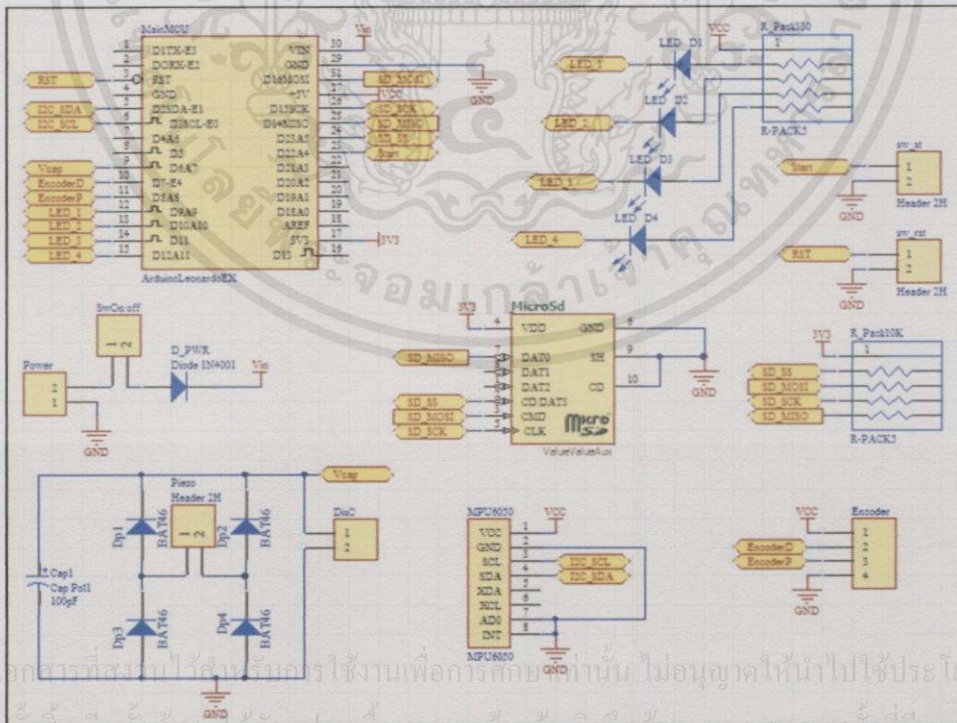
15. Size : 45x20x20 mm



รูปที่ 3.13 ลักษณะของบอร์ด DFRobot Dreamer Nano V4.0 [27]

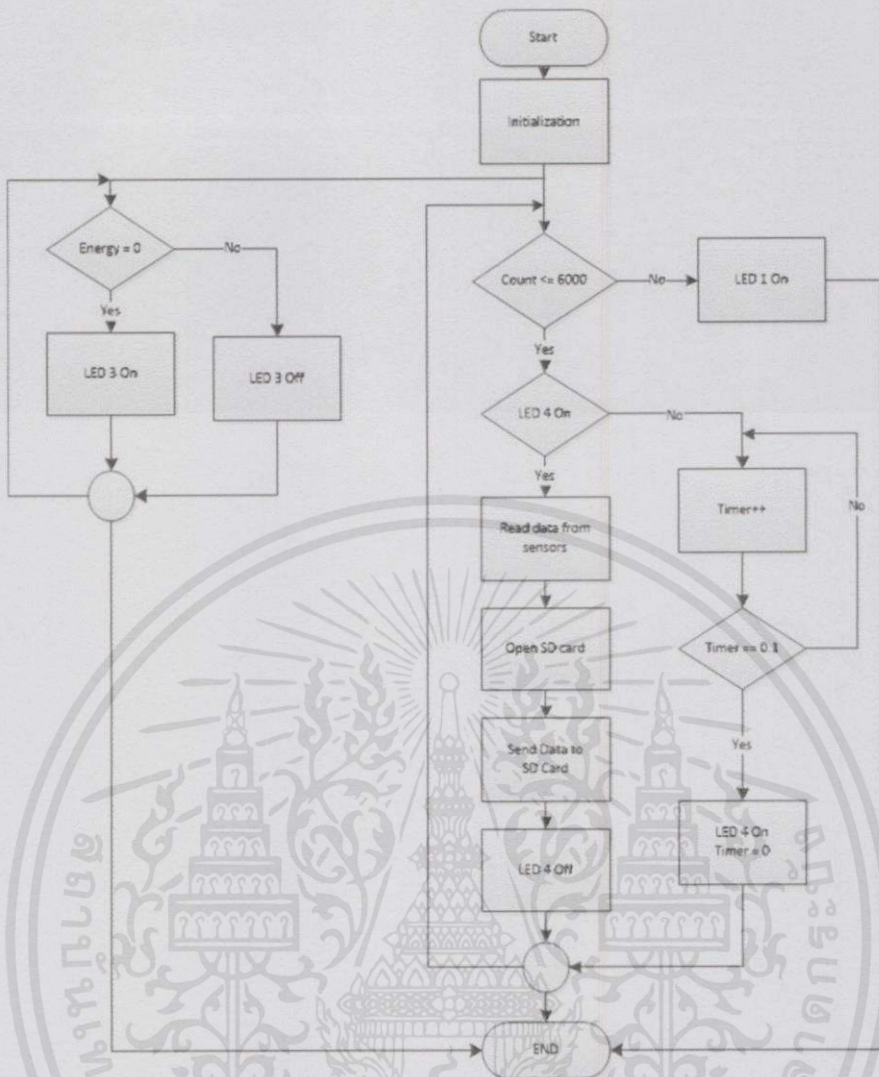
ในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของระบบ และข้อมูลการเก็บเกี่ยวพลังงานของอุปกรณ์เก็บข้อมูลนี้ได้ถูกออกแบบทางไฟฟ้าให้มีวงจรภายในดังรูปที่ 3.14 โปรแกรมไว้เพื่อเก็บข้อมูลโดยมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.15 โดยให้ทำงานเก็บข้อมูลทุก 0.1 วินาที เป็นเวลา 10 นาทีมีหลอดไฟ LED แสดงสถานะ 4 หลอดโดยแต่ละหลอดทำหน้าที่ดังนี้

1. LED1 ทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานเมื่ออุปกรณ์เก็บข้อมูลทำงานเสร็จสิ้น
2. LED2 ทำหน้าที่แสดงความผิดปกติของการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์
3. LED3 ทำหน้าที่แสดงสถานะว่ามีพลังงานเข้ามาเก็บในตัวเก็บประจุหรือไม่
4. LED4 ทำหน้าที่แสดงสถานะในการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาก่อนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตีพิมพ์ลงนิตยสารและต้องขออนุญาตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 แผนผังวงจรของอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลอง และออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีกระบวนการในการทดลองต่างๆ ทั้งสิ้น 2 ส่วนประกอบด้วย การทดลองเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ และการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นในทะเล ในการทดลองเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์จะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาหลักการทำงาน และปัจจัยที่ส่งผลต่อการแปรรูปพลังงานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก เพื่อทำการปรับปรุงให้เพียโซอิเล็กทริกมีความสามารถในการแปรรูปพลังงานที่สูง และเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานจริงมากที่สุด ส่วนการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นในทะเลจะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ของแนวคิดที่ใช้ออกแบบระบบนี้ว่าสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้จริง โดยมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 การทดลองเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

เป็นการทดลองเพื่อพัฒนาอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูปพลังงานจากการหมุนของลูกตุ้มในระบบส่งถ่ายกำลังจากน้ำทะเลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยในการทดลองนี้จะมีการทดลองย่อยทั้งสิ้น 2 การทดลอง คือ การทดลองด้วยเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น และการทดลองด้วยเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

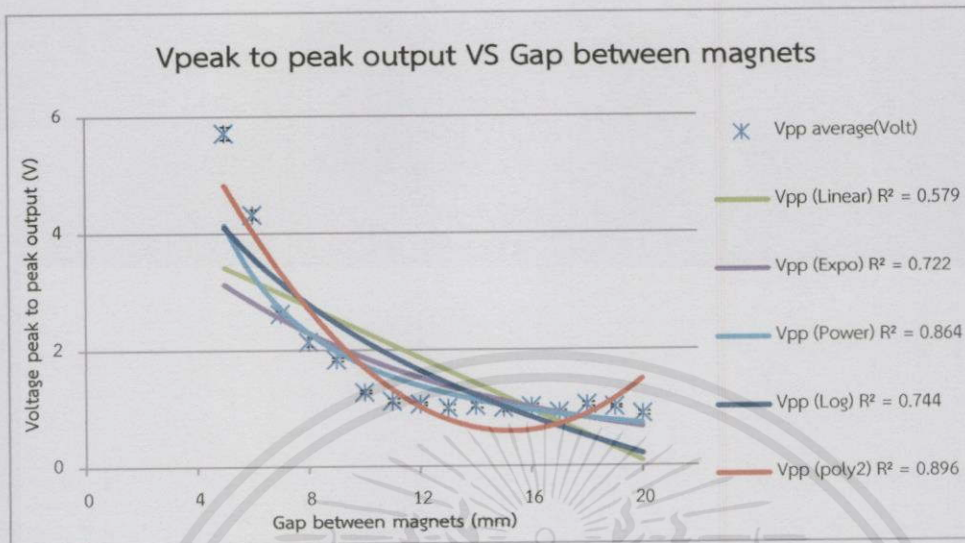
##### 4.1.1 การทดลองด้วยเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น

เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการแปรรูปพลังงานทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยจะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ จากการทดลองกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพียงแผ่นเดียวเพื่อลดผลกระทบจากการต่อรวมกันของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกโดยมีการศึกษาทั้งสิ้น 3 หัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

##### 4.1.1.1 การทดลองปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์และสเตเตอร์

เป็นการทดลองเพื่อหาผลกระทบจากระยะห่างระหว่างแม่เหล็กที่ติดบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก และแม่เหล็กบนแผ่นโรเตอร์ว่ามีผลกระทบอย่างไร เพื่อที่จะสามารถเลือกระยะห่างที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนที่ความเร็ว 10 RPM ใช้แม่เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $9.2 \times 17.5 \times 3 \text{ mm}^3$  จำนวน 1 ก้อนในการทดลอง โดยในการทดลองจะทำการศึกษผลกระทบโดยปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กทั้งสองที่ทำหน้าที่ผลักกันเมื่อหันมาตรงกัน จากนั้นจึงทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด (Peak to Peak Voltage) โดยทำการปรับระยะของแม่เหล็กในช่วง 5 mm ถึง 20 mm โดยปรับครั้งละ 1 mm เนื่องจากถ้าปรับให้สั้นเกินไปกว่า 5 mm แผ่นเพียโซอิเล็กทริกอาจเสียหาย หรือแรงผลักอาจไม่มากพอในการผลักแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ เนื่องจากแรงดูดระหว่างแม่เหล็กที่บริเวณพื้นผิวด้านข้างของแม่เหล็ก โดยในการทดลอง

ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 5 MΩ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และมีลักษณะสัญญาณดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ระยะห่าง 10 mm (ซ้าย) และ 5 mm (ขวา)

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อทำการปรับระยะระหว่างแม่เหล็กให้แคบลงจะสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเพียโซอิเล็กทริกได้มากขึ้น โดยเมื่อทำการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลแล้วพบว่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.1 โดยสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ 5.712 V ที่ระยะห่าง 5 mm จึงทำการเลือกใช้ระยะห่าง 5 mm นี้ในการทดลองต่อไป

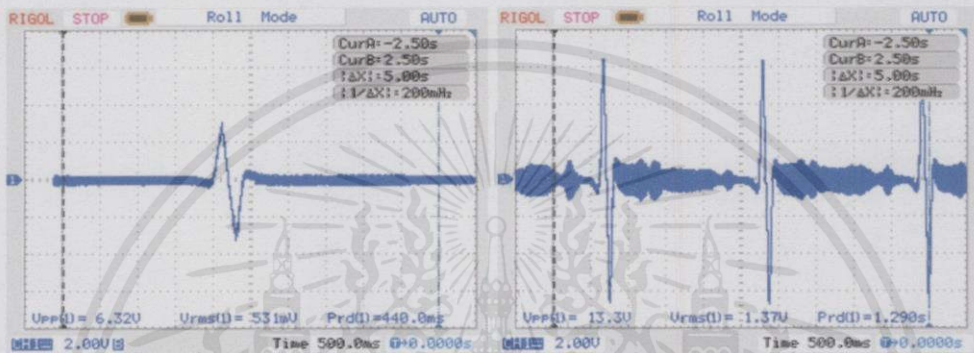
$$V_{p-p} \propto 1/d^2$$

สมการที่ 4.1

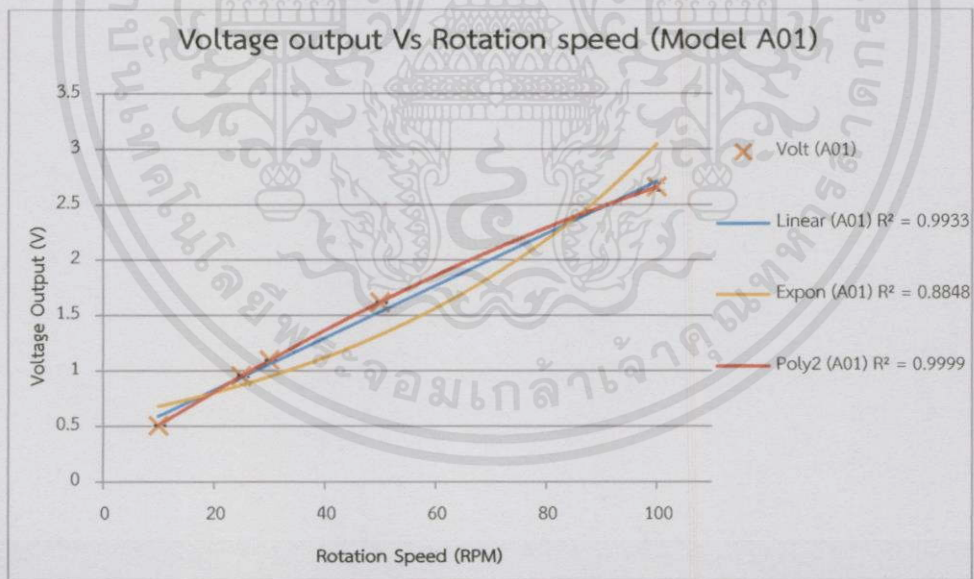
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน เมื่อ  $V_{p-p}$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Volt $_{p-p}$ ) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารนี้ที่มิได้มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.2 การทดลองปรับความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์

เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ กับแรงดันเอาต์พุตจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกโดยทำการปรับให้ระยะระหว่างแม่เหล็กอยู่ที่ 5 mm ใช้แม่เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $9.2 \times 17.5 \times 3 \text{ mm}^3$  ติดที่แผ่นโรเตอร์ และทำการปรับความเร็วรอบในการหมุนผ่านอัตราทดของมอเตอร์ที่เป็นตัวส่งแรงขับเคลื่อน ทำการทดสอบในช่วงความเร็ว 10, 25, 30, 50 และ 100 RPM โดยทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ  $5 \text{ M}\Omega$  มีลักษณะสัญญาณตัวอย่างดังรูปที่ 4.3 และมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ความเร็ว 10 RPM (ซ้าย) และที่ความเร็ว 30 RPM (ขวา)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์

โดยจากตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตในรูปที่ 4.3 จะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 3 เท่าจะส่งผลให้รูปสัญญาณแคบลงแต่จะสูงขึ้น และมีจำนวนลูกคลื่นมากขึ้นตามจำนวนเท่าที่หมุนในช่วงเวลาเดียวกัน โดยจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์ในรูปที่ 4.4 สามารถสรุปความสัมพันธ์ออกมาได้ดังสมการที่ 4.2

$$V_{rms} \propto \omega^2$$

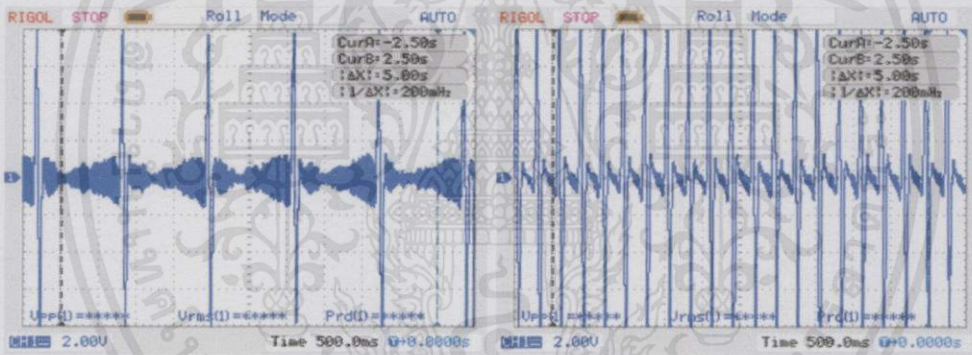
สมการที่ 4.2

เมื่อ  $V_{rms}$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ( $Volt_{rms}$ )

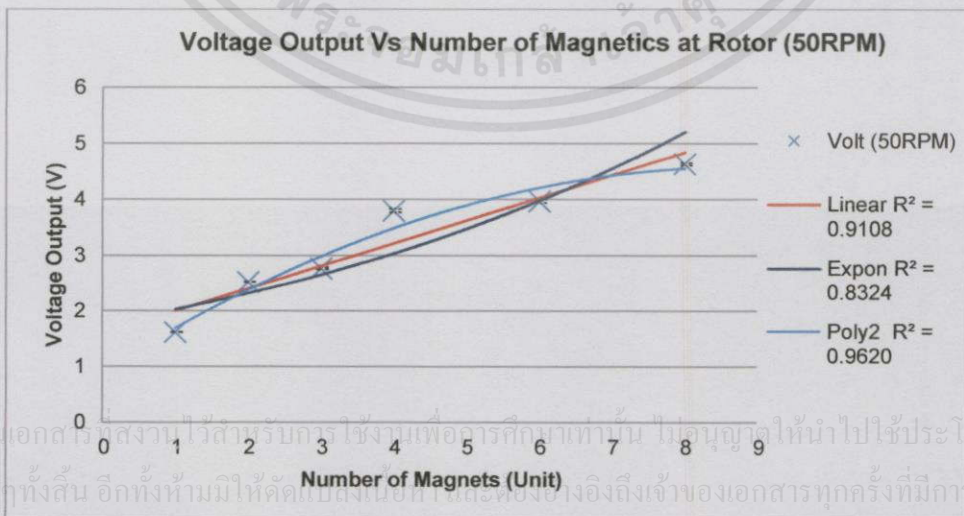
$\omega$  คือ ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ (RPM)

#### 4.1.1.3 การทดลองปรับจำนวนแม่เหล็กของโรเตอร์

เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่เหล็กของโรเตอร์กับแรงดันเอาต์พุตจากเพียโซอิเล็กทริก ทำการทดลองปรับให้ระยะระหว่างแม่เหล็กอยู่ที่ 5 mm ใช้แม่เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $9.2 \times 17.5 \times 3 \text{ mm}^3$  ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนโมดูลของโรเตอร์เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ โดยโมดูลที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีโมดูล A01 ที่มีแม่เหล็ก 1 ชั้น โมดูล A02 ที่มีแม่เหล็ก 2 ชั้น โมดูล A03 ที่มีแม่เหล็ก 3 ชั้น โมดูล A04 ที่มีแม่เหล็ก 4 ชั้น โมดูล A06 ที่มีแม่เหล็ก 6 ชั้น และโมดูล A08 ที่มีแม่เหล็ก 8 ชั้น โดยทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ  $5 \text{ M}\Omega$  ได้รูปตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.5 และได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตที่ความเร็ว 50 RPM ของโมดูล A01(ซ้าย) และโมดูล A04(ขวา)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับจำนวนแม่เหล็กบนโรเตอร์

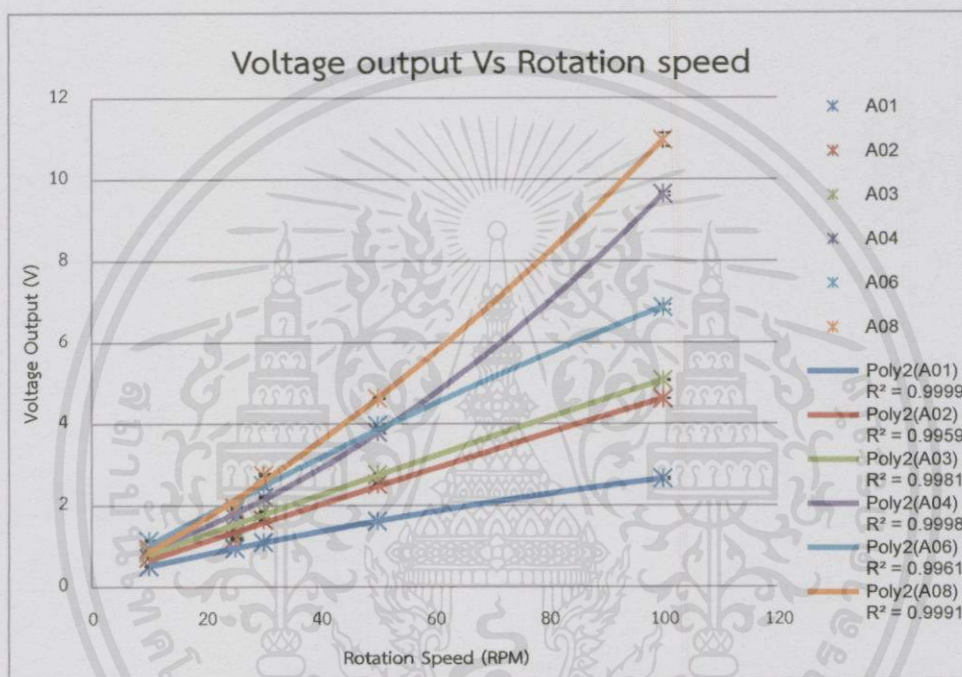
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับจำนวนแม่เหล็กบนโรเตอร์ สามารถสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.3 ถึงอย่างไรก็ดี เมื่อมีการวางแม่เหล็กใกล้กัน จนเกินไปจนทำให้เกิดการทับซ้อนกันของสนามแม่เหล็กจะส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตลดลง

$$V_{rms} \propto n^2$$

สมการที่ 4.3

เมื่อ  $V_{rms}$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ( $Volt_{rms}$ )

$n$  คือ จำนวนแม่เหล็กบนโรเตอร์ (ก้อน)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับความเร็รรอบของโรเตอร์ของแต่ละโมดูล

เพื่อให้สามารถเลือกใช้โรเตอร์ได้อย่างเหมาะสมผู้จัดทำจึงทำการทดลองเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นทั้งสองปัจจัยนั้นแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ขึ้นต่อกันทั้งคู่ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

#### 4.1.2 การทดลองด้วยเฟียโซอิเล็กทริก 4 แผ่น

ในการใช้งานจริงการใช้แผ่นเฟียโซอิเล็กทริกจำนวน 4 แผ่นในการเก็บเกี่ยวพลังงานย่อมได้พลังงานมากกว่าการใช้แผ่นเฟียโซอิเล็กทริกจำนวน 1 แผ่นในการเก็บเกี่ยวพลังงาน แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ก่อนการใช้งานแผ่นเฟียโซอิเล็กทริกจำนวน 4 แผ่นนั้นเราต้องรู้จักวิธีการใช้งานรูปแบบต่างๆ ว่าจะให้พลังงานแตกต่างกันอย่างไรบ้าง โดยในการทดลองเกี่ยวกับเฟียโซอิเล็กทริกจำนวน 4 แผ่นนี้จะเริ่มจากการศึกษาจากการต่อวงจรรวมของแผ่นเฟียโซอิเล็กทริก จากนั้นจึงนำไปทดสอบด้วยวิธีการเคลื่อนที่แบบหมุน และการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกต่อไป โดยมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1.2.1 การทดลองเพื่อหาวิธีต่อวงจรรวมของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

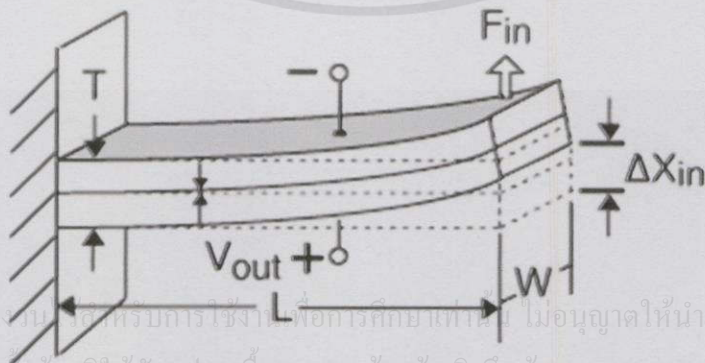
เป็นการทดลองเพื่อหาวิธีการต่อวงจรรวมของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ดีที่สุดในการแปรรูปพลังงาน โดยในการทดลองนี้จะเริ่มจากการการทดลองสัญญาณเอาต์พุตเพื่อเทียบลักษณะสัญญาณไฟฟ้าที่แต่ละขั้ว จากนั้นทำการทดลองผลกระทบของการต่อรวมกันของเพียโซอิเล็กทริกด้วยวิธีต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 1. การการทดลองสัญญาณเอาต์พุตเพื่อเทียบลักษณะสัญญาณไฟฟ้าที่แต่ละขั้ว

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการผลักเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 2 แผ่นให้ไปในทิศทางเดียวกัน ในระหว่างการผลักจะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแผ่นเพียโซอิเล็กทริกผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ  $5\text{ M}\Omega$  โดยทำการต่อขั้วบวก กับขั้วด้านบน และทำการต่อขั้วลบ กับขั้วด้านล่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งสองแผ่นแยกกัน จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ได้ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.8 คือมีเฟสของสัญญาณที่ตรงกัน กล่าวคือพบว่าในการวัดทุกครั้งเมื่อทำการวัดรูปสัญญาณที่ขั้วของเพียโซอิเล็กทริกด้านเดียวกัน และทำการผลักไปในทิศทางเดียวกันจะได้อุปสัญญาณที่เฟสตรงกันเสมอ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากเว็บไซต์ของผู้ผลิตเพียโซอิเล็กทริกชนิดที่นำมาทดลองพบว่าแบบที่เลือกใช้เป็นแบบที่มีการโพลาริเซชันเข้าหากัน ดังรูปที่ 4.9 เมื่อทำการผลักให้ขั้วไปในทิศทางเดียวกัน แรงดันเอาต์พุตจะมีทิศทางเดียวกันเสมอ



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างผลการทดลองเทียบรูปสัญญาณ

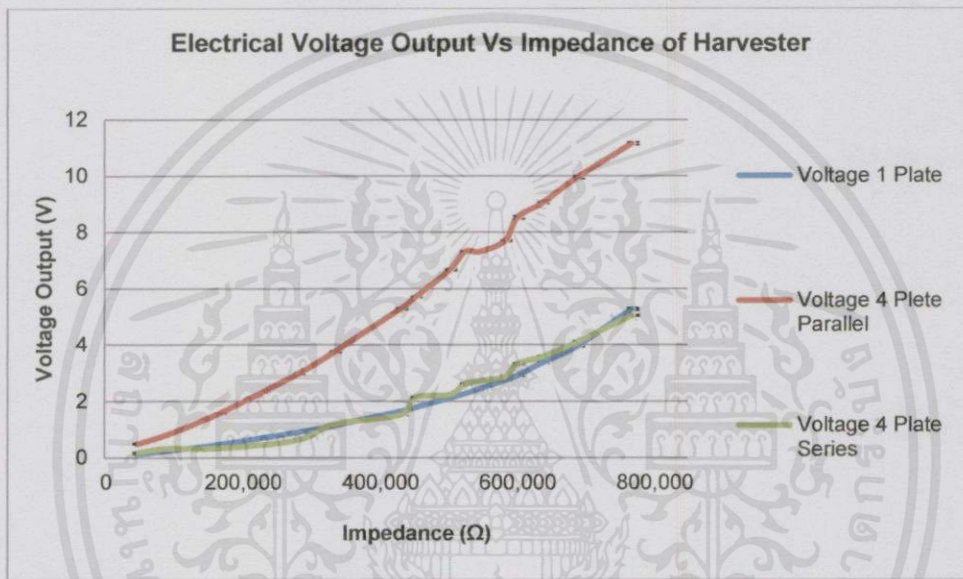


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

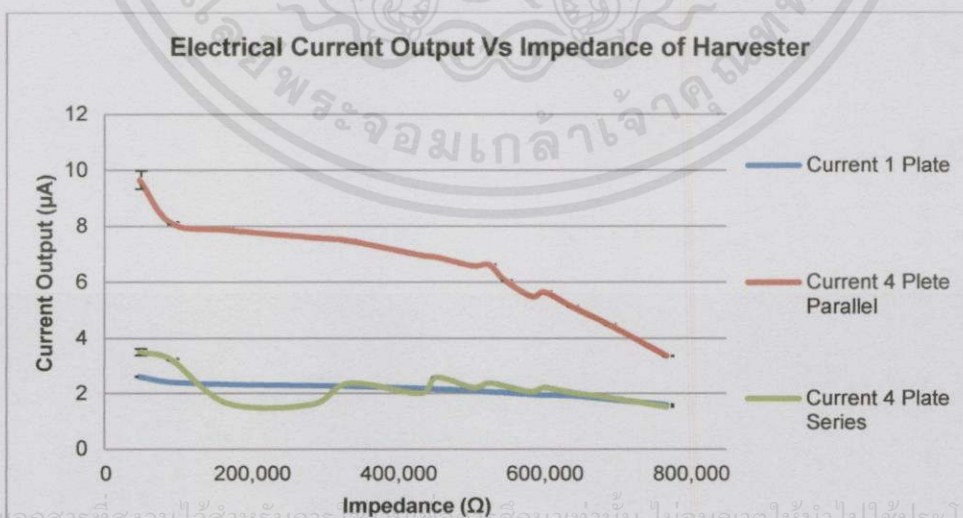
รูปที่ 4.9 ลักษณะการโพลาริเซชันของเพียโซอิเล็กทริก [13]

## 2. การทดลองผลกระทบของการต่อรวมกันของเพียโซอิเล็กทริกด้วยวิธีต่างๆ

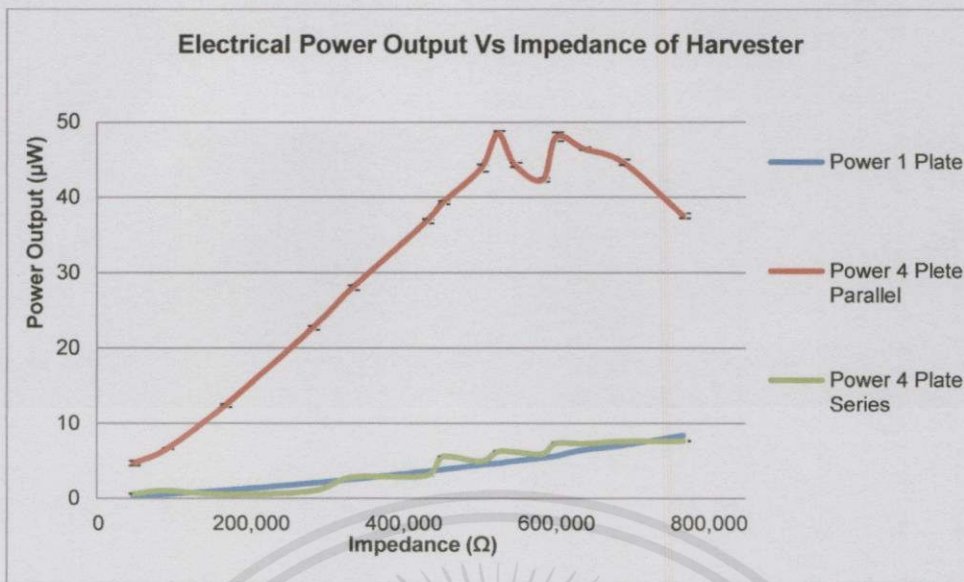
ในการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบการส่งถ่ายพลังงานสูงสุดของการต่อเพียโซอิเล็กทริกแบบต่างๆ โดยจะประกอบไปด้วย การใช้งานเพียโซอิเล็กทริกแผ่นเดียว การต่อเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นแบบขนาน และการต่อเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นแบบอนุกรม โดยทำการทดลองในเงื่อนไขที่ใช้โรเตอร์โมดูลแม่เหล็ก 4 ก้อนหมุนด้วยความเร็วรอบ 30 RPM ที่ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 5 M $\Omega$  โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.10 – 4.12 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองวิธีการรวมพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก

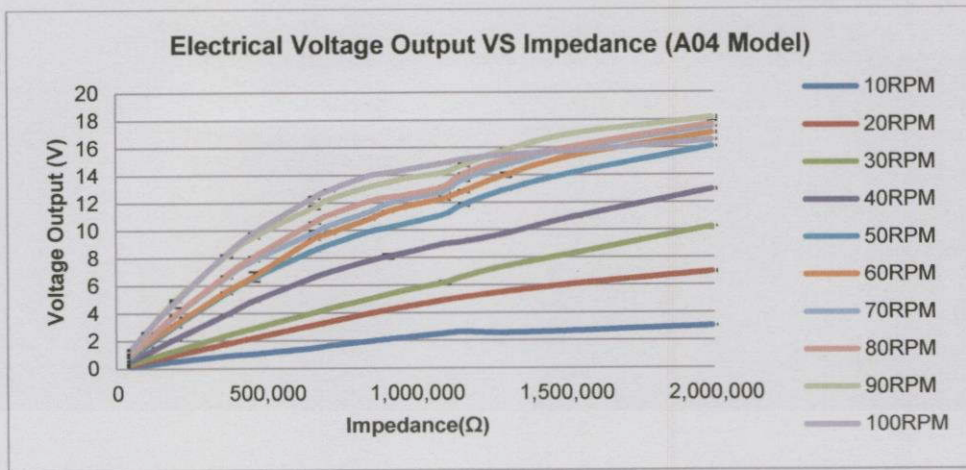
#### 4.1.2.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุน

การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนนี้ มีขึ้นเพื่อศึกษา และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการแปรรูปพลังงานผ่านการหาค่าการส่งถ่ายพลังงานสูงสุด เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้โมดูลของโรเตอร์ที่จะนำไปใช้ในอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล โดยในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาทั้งสิ้น 5 โมดูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

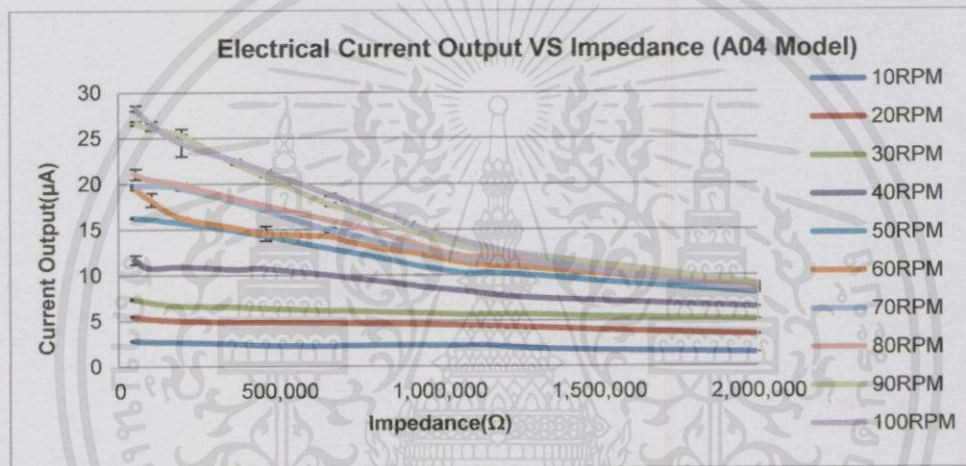
##### 1. โมดูลโรเตอร์ A04

เป็นการทดลองประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโรเตอร์โดยในการทดลองนี้จะใช้โมดูลโรเตอร์ A04 ในการทดลองเนื่องจากในการทดลองที่เพียโซอิเล็กทริกแผ่นเดียวนั้นได้ค่าที่น่าสนใจในการพัฒนาต่อ และจากการสังเกตพบว่ามีอาการช้อนทับกันของสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรชั้น โดยได้ทำการวัดค่าผลการทดลองที่ได้โดยตั้งให้ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 5 MΩ โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.13 – 4.15 ดังต่อไปนี้

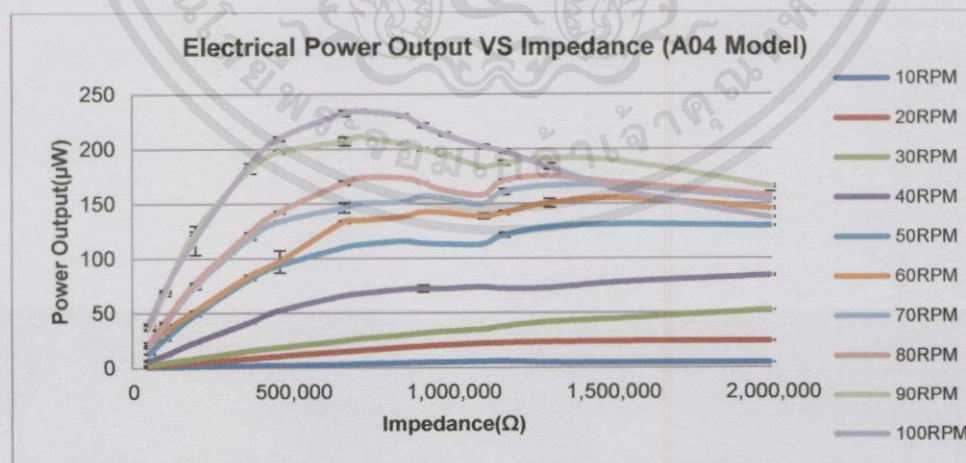
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ากระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04

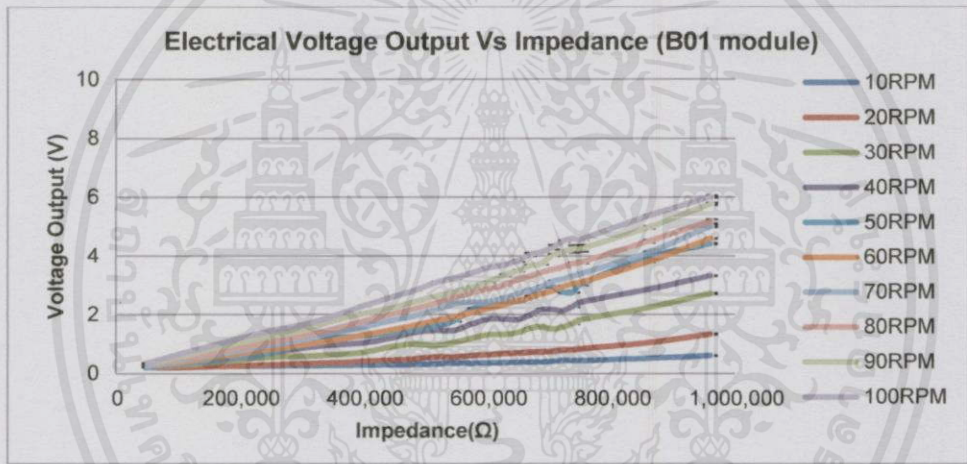


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล A04 จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าพลังงานสูงสุดที่ได้อยู่ที่  $234.4745 \mu\text{W}$  ซึ่งคาดการณ์ว่าเพียงพอต่อระบบที่จะนำมาใช้งานร่วมในภายภาคหน้า ถึงอย่างไรก็ดีในระหว่างการทดลองพบว่า

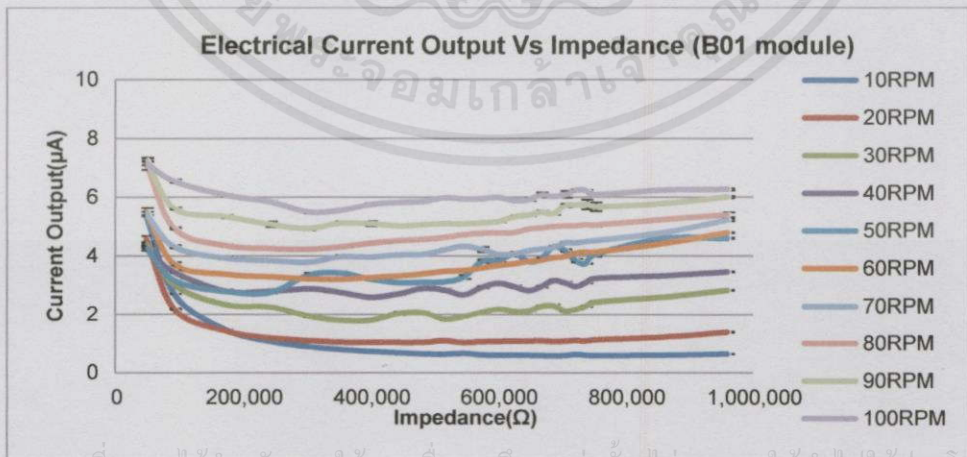
การหักของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นจึงทำการแก้ไข และทดลองในโมดูลอื่นๆ เพิ่มเพื่อหาโมดูลของโรเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

## 2. โมดูลโรเตอร์ B01

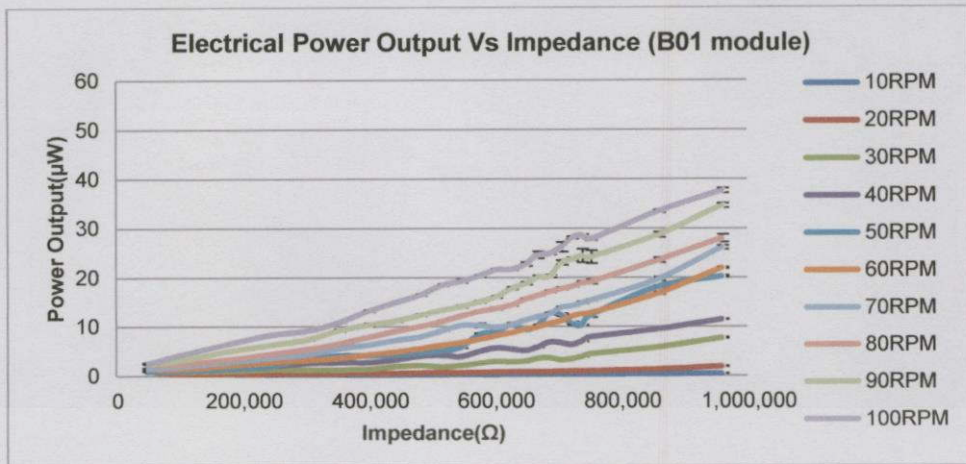
เป็นการทดลองประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโรเตอร์โดยในการทดลองนี้จะใช้โมดูลโรเตอร์ B01 ในการทดลองเนื่องจากการหักตัวลงของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเมื่อทำการทดสอบกับโมดูลโรเตอร์ A04 จึงทำการปรับขนาดแม่เหล็กบนโรเตอร์ให้เล็กลง และเปลี่ยนรูปทรงของแม่เหล็กเพื่อลดแรงต้านที่เกิดจากพื้นที่ด้านข้างของแม่เหล็กกลง โดยได้ทำการวัดค่าผลการทดลองที่ได้โดยตั้งให้ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 1.2 M $\Omega$  โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.16 – 4.18 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01

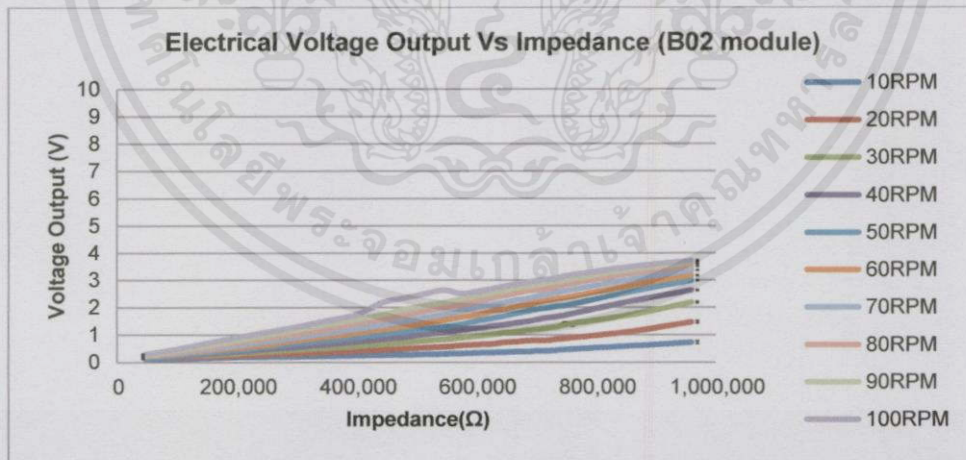


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B01

จากการทดลองพบว่าพลังงานที่ได้ลดลงระดับหนึ่งถึงแม้จะเพิ่มจำนวนแม่เหล็กก็ตาม เนื่องจากขนาดของแม่เหล็กที่ใช้มีขนาดที่เล็กส่งผลให้ได้พลังงานสูงสุดที่ได้จึงอยู่ที่ 37.666  $\mu\text{W}$

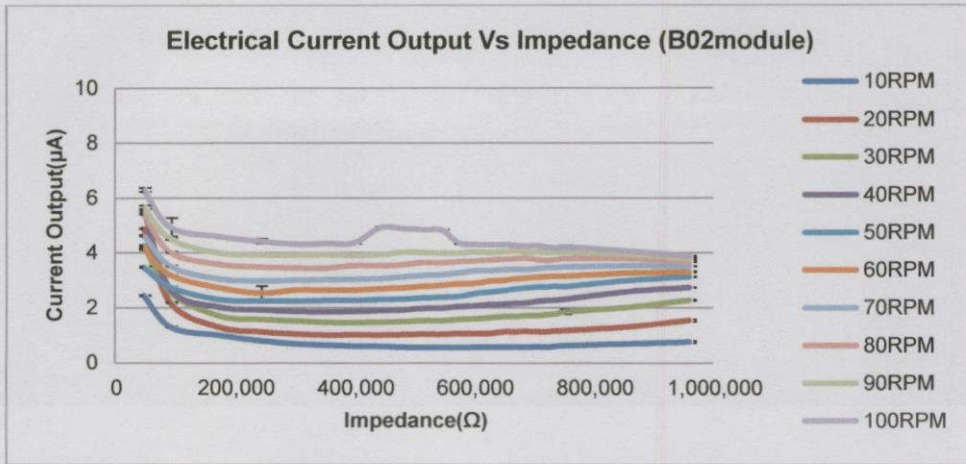
### 3. โมดูลโรเตอร์ B02

เป็นการทดลองประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโรเตอร์โดยในการทดลองนี้จะใช้โมดูลโรเตอร์ B02 โดยได้ทำการวัดค่าผลการทดลองที่ได้โดยตั้งให้ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 1.2 M $\Omega$  โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.19 – 4.21 ดังต่อไปนี้

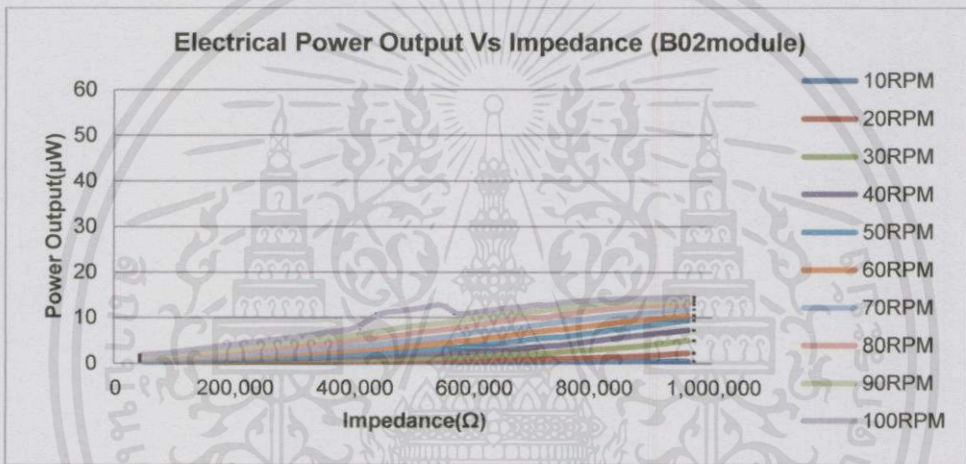


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02



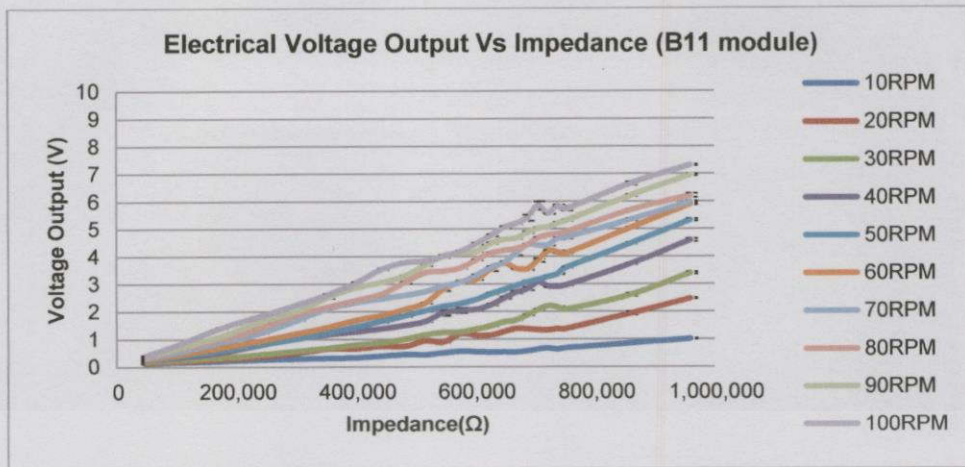
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B02

จากการทดลองพบว่าพลังงานสามารถส่งถ่ายได้สูงสุด 14.490  $\mu\text{W}$  เนื่องจากมีการซ้อนทับกันของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแม่เหล็กฐานวาร์เกิดขึ้น

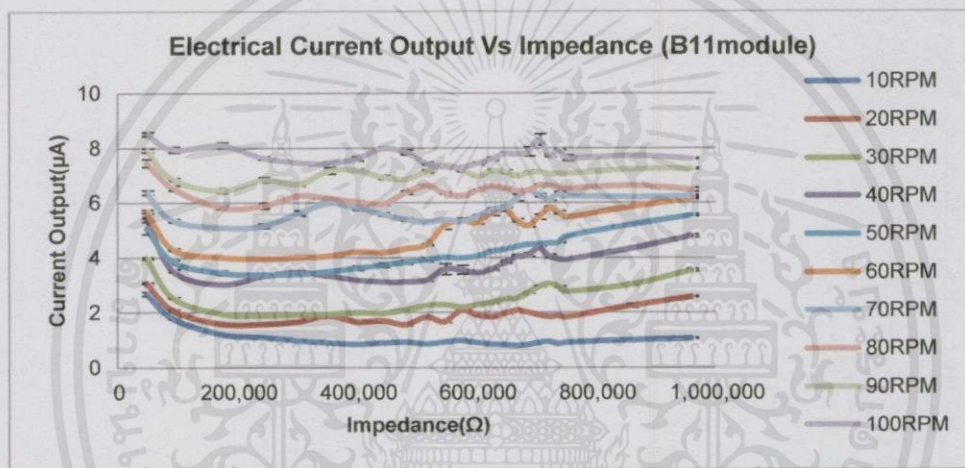
#### 4. โมดูลโรเตอร์ B11

เป็นการทดลองประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโรเตอร์โดยในการทดลองนี้จะใช้โมดูลโรเตอร์ B11 โดยได้ทำการวัดค่าผลการทดลองที่ได้โดยตั้งให้ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 1.2 M $\Omega$  โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.22 – 4.24 ดังต่อไปนี้

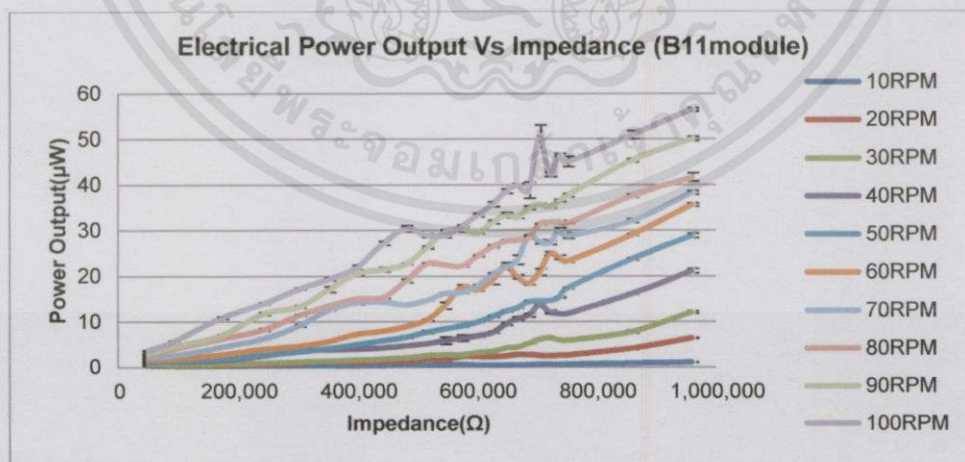
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11



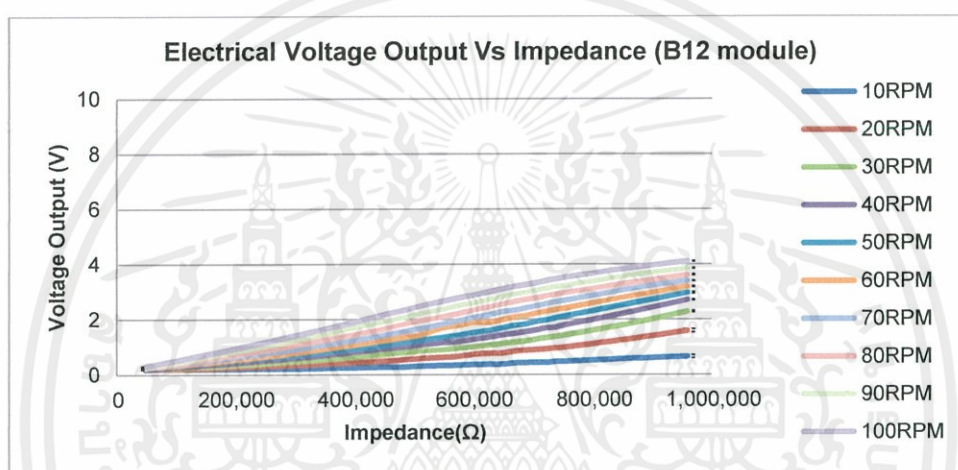
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B11

เอกสารนี้... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

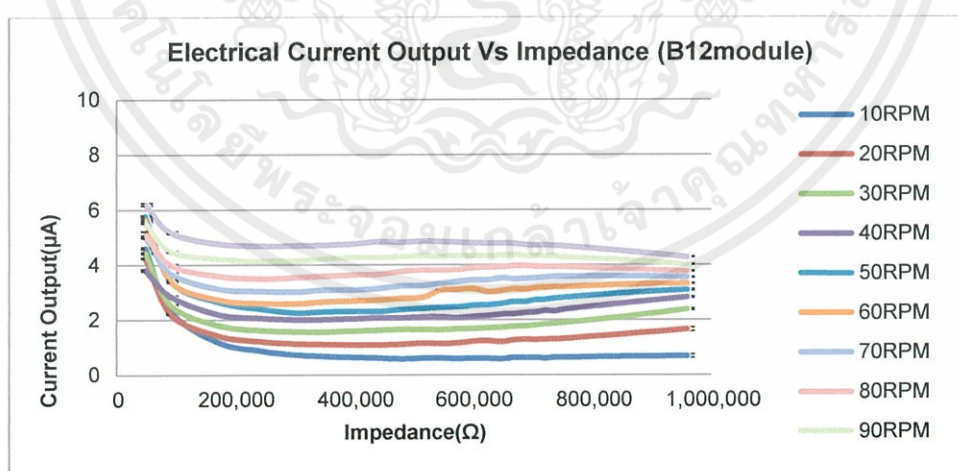
จากการทดลองพบว่าพลังงานสามารถส่งถ่ายได้สูงสุด 56.445  $\mu\text{W}$  เนื่องจากแม่เหล็กที่โรเตอร์ของโมดูล B11 มีขนาดใหญ่กว่าแม่เหล็กที่โรเตอร์โมดูล B01 และได้พลังงานน้อยกว่าโรเตอร์โมดูล A04 เนื่องจากแม่เหล็กที่โรเตอร์ของโมดูล B11 มีขนาดใหญ่กว่าแม่เหล็กที่โรเตอร์โมดูล A04

### 5. โมดูลโรเตอร์ B12

เป็นการทดลองประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโรเตอร์โดยในการทดลองนี้จะใช้โมดูลโรเตอร์ B12 โดยได้ทำการวัดค่าผลการทดลองที่ได้โดยตั้งให้ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ และสเตเตอร์ห่างกัน 5 mm ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 1.2  $\text{M}\Omega$  โดยจะได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.25 – 4.27 ดังต่อไปนี้

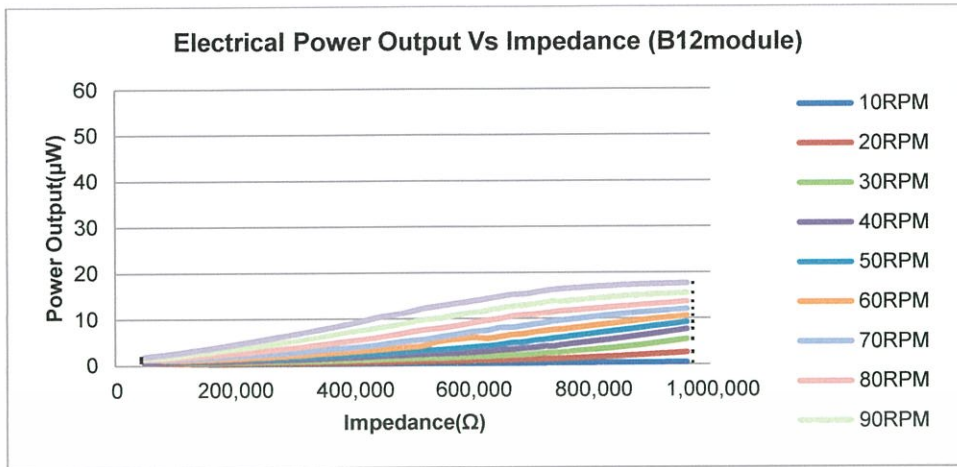


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนของโมดูล B12

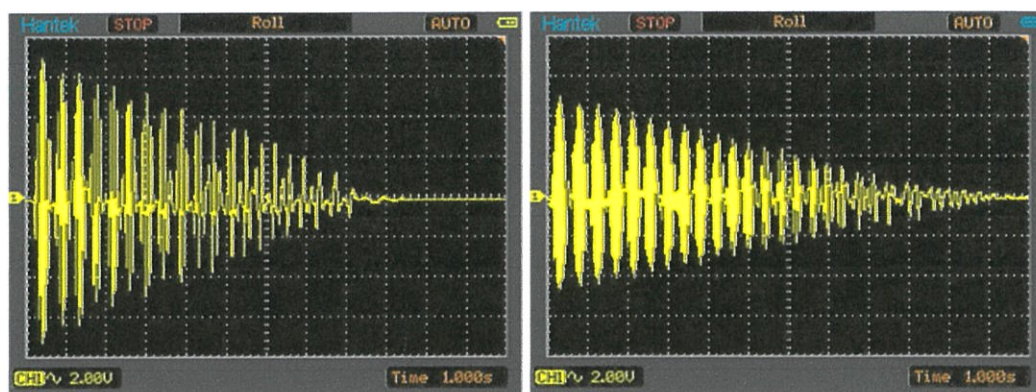
จากการทดลองพบว่าพลังงานสามารถส่งถ่ายได้สูงสุด 17.576  $\mu\text{W}$  เนื่องจากมีการซ้อนทับกันของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแม่เหล็กฐาวรเกิดขึ้นเช่นเดียวกันโมดูล B02

จากการทดลองทั้งหมดของการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนพบว่าขนาด และจำนวนของแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานเอาต์พุตที่ออกมาดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น ได้ข้อสรุปว่าโรเตอร์แบบโมดูล B11 มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงมากที่สุดเนื่องจากสามารถลดโอกาสเสี่ยงที่จะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกหักลง โดยการใช้แม่เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าแบบโมดูล A04 ที่ได้พลังงานสูงสุดโดยได้โมดูล B11 นี้สามารถส่งถ่ายพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 56.445  $\mu\text{W}$

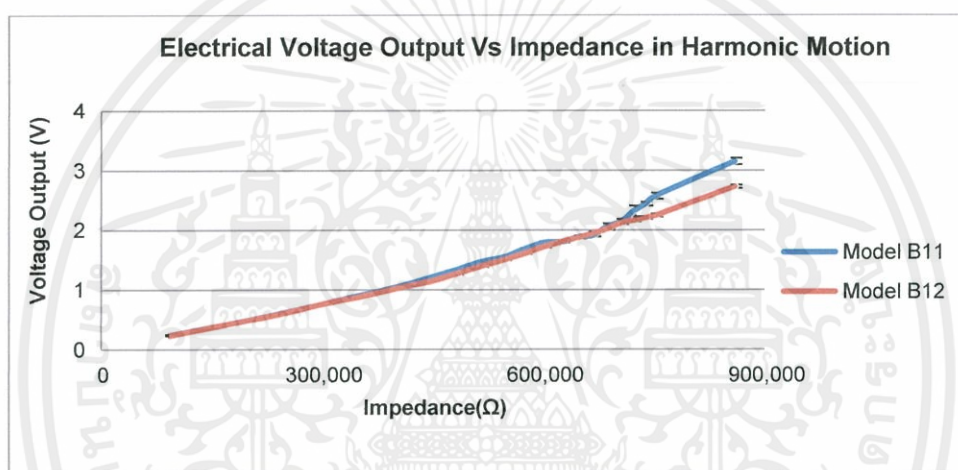
#### 4.1.2.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกนี้ มีขึ้นเพื่อศึกษา และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการแปรรูปพลังงานผ่านการหาค่าการส่งถ่ายพลังงานสูงสุด เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ประกอบการตัดสินใจเพิ่มเติมในการเลือกใช้โมดูลของโรเตอร์ที่จะนำไปใช้ในอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลให้เหมาะสมยิ่งขึ้นจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนที่ผ่านมา เนื่องจากในการใช้งานจริงแผ่นโรเตอร์จะไม่ได้ทำการเคลื่อนที่แบบหมุนมากนัก แต่จะทำการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาทั้งสิ้น 2 โมดูลโดยมีประเด็นมุ่งเน้นด้านผลกระทบจากการจัดวางแม่เหล็กเพื่อวัดผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำการทดลองโดยนำลูกตุ้มมาติดเข้ากับแกนของโรเตอร์ และทำการยกลูกตุ้มขึ้น ณ ตำแหน่งสูงสุดที่สามารถนำขึ้นไปได้ และทำการปล่อยลงมา ในระหว่างการเคลื่อนที่ก็ทำการวัดผลการทดลอง ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเพียโซอิเล็กทริกในวงจรแบบต่างๆ ผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีความต้านทานภายในประมาณ 1.2  $\text{M}\Omega$  โดยผลการทดลองที่ได้จะมีรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.28 และมีผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 4.29 – 4.31

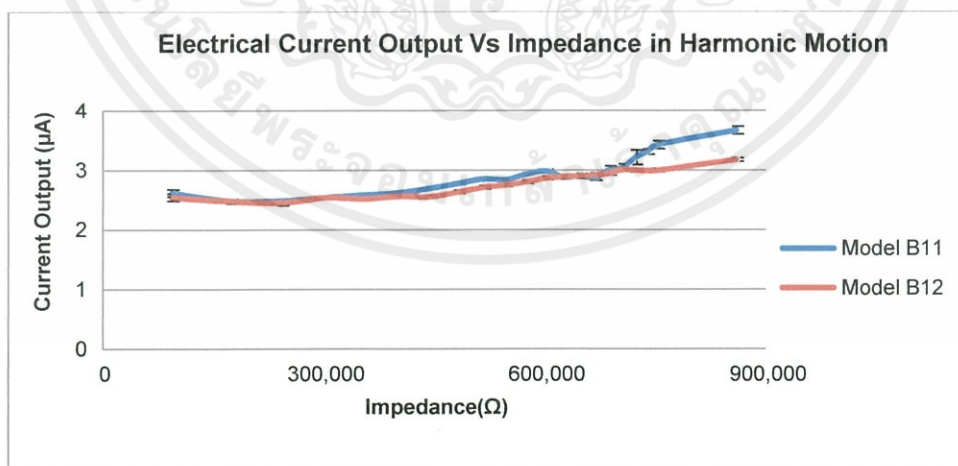
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11 (ซ้าย) และ B12 (ขวา) ที่ตัวต้านทาน 100 k $\Omega$

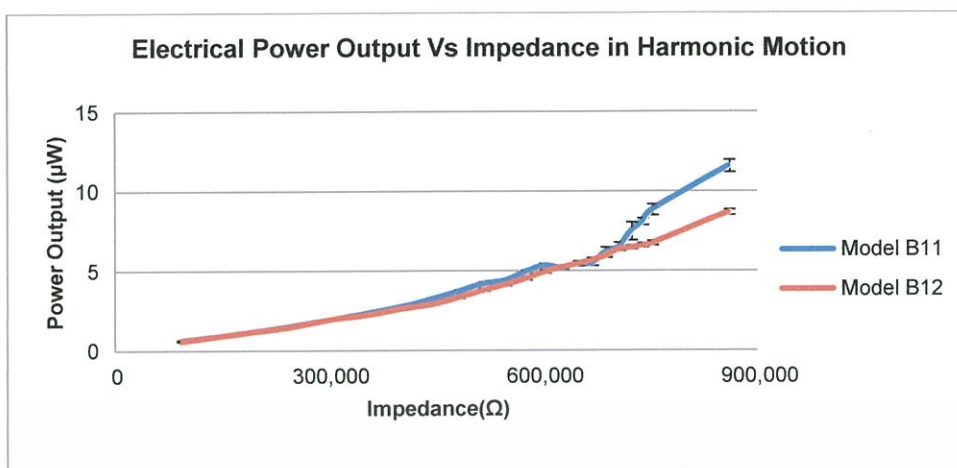


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงพลังงานเอาต์พุตจากการทดลองด้วยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของโมดูล B11

จากการทดลองด้วยโรเตอร์โมดูล B11 และโมดูล B12 พบว่าได้พลังงานที่ใกล้เคียงกันโดยพลังงานสูงสุดที่ได้อยู่ที่ 11.573  $\mu\text{W}$  จากโมดูล B11 เนื่องจากในโมดูล B12 สนามแม่เหล็กมีการซ้อนทับกันแต่ก็มีจำนวนแม่เหล็กที่มากกว่า ทำให้มีพลังงานเอาต์พุตที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกนี้มีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่แบบหมุนเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกในการทดลองเป็นแบบที่พลังงานในระบบค่อยๆ ลดน้อยลงแตกต่างจากการเคลื่อนที่แบบหมุนที่มีการเคลื่อนที่แบบคงที่ทำให้มีการส่งถ่ายพลังงานได้ต่อเนื่อง

#### 4.2 การทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

เป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจริงในทะเลเพื่อทำการทดสอบถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของระบบโดยภาพรวมเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาต่อไป ในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ในทะเลนั้นผู้จัดทำเลือกสถานที่ทดลองเป็น หาดตะวันฉาย อำเภอละมั่ง จังหวัดชุมพร ดังรูปที่ 4.32 เป็นสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง โดยได้ทำการทดลองโดยการนำระบบไปลอยทะเลดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.32 หาดตะวันฉายสถานที่ที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของมหาวิทยาลัย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ การนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ถูกต้อง



รูปที่ 4.33 สภาพการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานในสถานที่จริง

ในการทดลองนี้ ผู้จัดทำได้ทำการทดลองแต่ละครั้งเป็นเวลา 10 นาที เป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยจะทำการวัดค่าการเคลื่อนที่ของตัวระบบในแนวแกนที่สนใจว่ามีการเคลื่อนที่ไปเท่าไร และพลังงานที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุมีค่าเท่าใด โดยในการวัดค่าพลังงานที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุ ทำการทดลองโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด  $220 \mu\text{F}$  ในการทดลอง และทำการวัดค่าโดยใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเองดังรูปที่ 4.34 เนื่องจากในการเก็บข้อมูลกลางทะเลด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มัลติมิเตอร์ หรือเครื่องออสซิลโลสโคปทำได้ยาก และเสี่ยงต่อการเสียหายของอุปกรณ์วัดระหว่างทำการทดลองโดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุที่เก็บเกี่ยวได้จะเป็นไปตามสมการที่ 4.4

$$W_c = \frac{1}{2} C V_c^2$$

สมการที่ 4.4

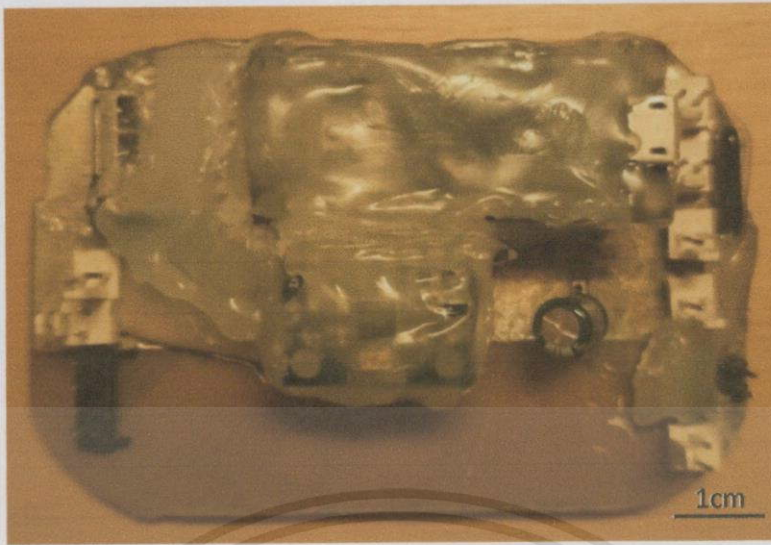
เมื่อ  $W_c$  คือ พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ ( $\mu\text{J}$ )

$C$  คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ ( $\mu\text{F}$ )

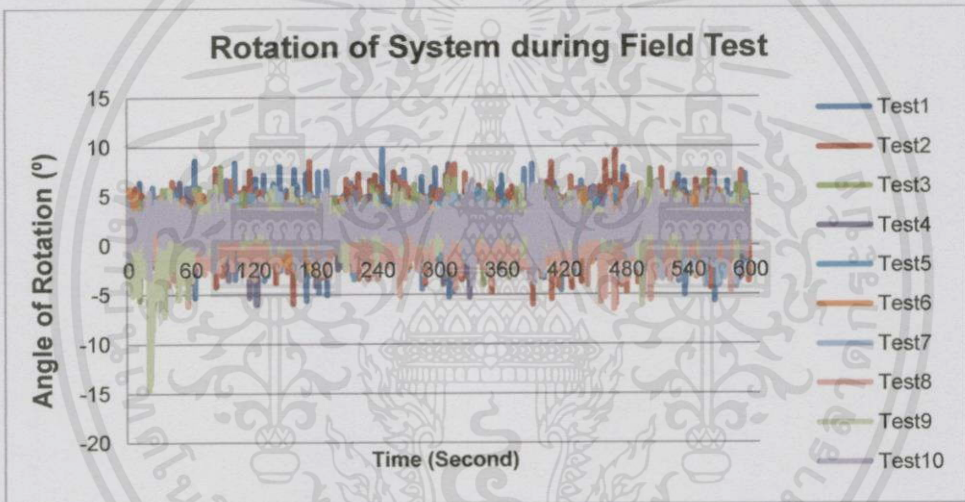
$V_c$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V)

อย่างไรก็ดีในแต่ละครั้งนั้นไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบด้วยกันได้เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อีกทั้งความผันผวนของคลื่นทะเลที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานของระบบ โดยผลการทดลองที่ได้จากการทดลองจะมีค่าดังรูปที่ 4.35 – 4.37

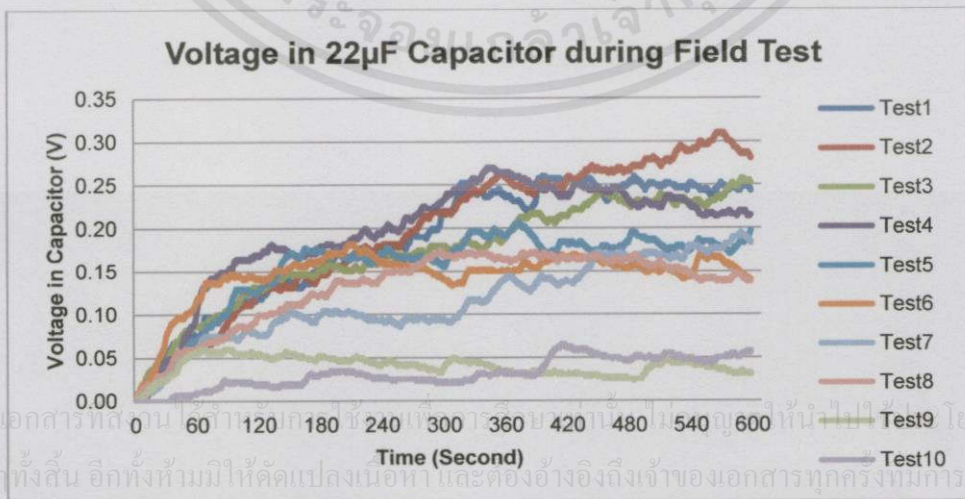
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



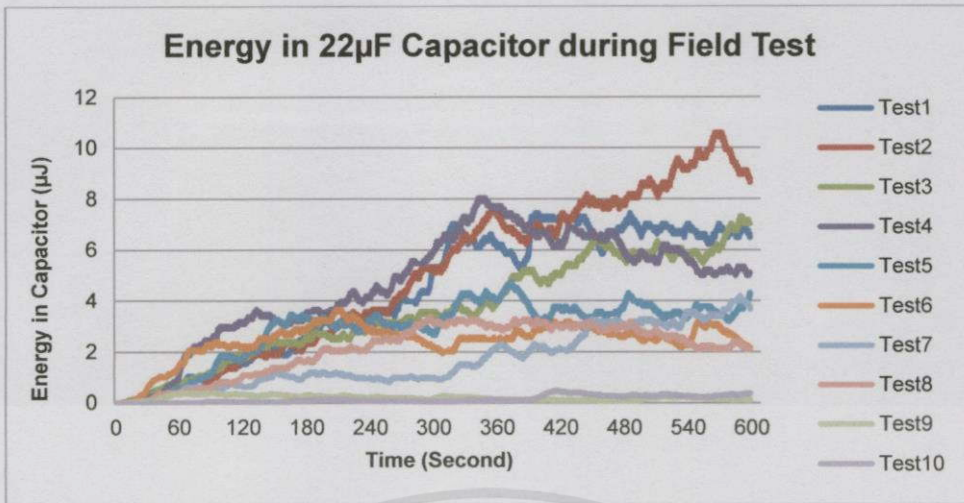
รูปที่ 4.34 ลักษณะอุปกรณ์เก็บข้อมูลในการส่งถ่ายพลังงานในภาพรวม



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของระบบในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงตัวอย่างแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ 22µF ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงตัวอย่างพลังงานที่เก็บได้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากทะเล

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถพบได้ว่าผลการทดลองมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากระหว่างการทดลองมีการเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงระหว่างการทดลอง โดยผลการทดลองสูงสุดที่ได้จะเกิดขึ้นในช่วงน้ำลง และผลการทดลองต่ำสุดจะเกิดในช่วงน้ำขึ้น เนื่องจากยอดคลื่น ณ จุดที่ทำการทดลองนั้นจะสูงที่สุดตอนช่วงน้ำลง และต่ำที่สุดตอนช่วงน้ำขึ้น ทำให้ระบบมีการเคลื่อนที่มากน้อยแตกต่างกัน อีกทั้งการเลือกใช้สถานที่ในการทดลองในช่วงเวลาขณะนั้นไม่ตรงกับที่ควรเนื่องจากเป็นช่วงที่คลื่นลมน้อย ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองนี้น้อยตามไปด้วย โดยในการทดลองนี้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้มากที่สุดอยู่ที่  $10.5917 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้น้อยที่สุดอยู่ที่  $0.3968 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที และสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $5.0230 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดอยู่ที่  $2.0522 \times 10^{-6}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาทั้งสิ้น 2 ส่วน ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 การออกแบบและพัฒนาเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

ในการออกแบบ และพัฒนาเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์พบว่า มีปัจจัยต่างๆ มากมายที่ส่งผลต่อการแปรรูปพลังงานของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์ กับสเตเตอร์, ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กของโรเตอร์, ขนาดของแม่เหล็กที่ใช้, จำนวนแม่เหล็กที่ใช้, ความเร็วที่ใช้ในการขับเคลื่อน, การเรียงตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก และตำแหน่งที่ยึดแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยในการวิจัยนี้สามารถแปรรูปพลังงานได้มากที่สุดอยู่ที่  $234.4745 \mu\text{W}$  ที่ความเร็วในการขับ 100 RPM โดยใช้โมเดลแม่เหล็กทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $9.2 \times 17.5 \times 3 \text{ mm}^3$  จำนวน 4 ก้อน และยังสามารถนำไปใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ดีถ้าสามารถจัดเรียงเส้นแรงแม่เหล็กได้ดีขึ้น คาดว่าจะสามารถแปรรูปพลังงานได้มากขึ้น

#### 5.1.2 การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

ในการออกแบบ และพัฒนาโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้พัฒนาไปในทิศทางของการออกแบบทุ่นลอย และลูกตุ้ม โดยในการทดลอง และออกแบบโครงสร้างส่งถ่ายกำลังนี้พบว่า มีปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการส่งถ่ายพลังงาน อาทิเช่น ความสูงของแกนเพลลา กับตัวฐาน ระยะห่างระหว่างทุ่นลอย แรงต้านจากแรงสนามแม่เหล็กของเพียโซอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ และน้ำหนักของลูกตุ้ม เป็นต้น เนื่องจากเวลาที่เร่งรัดส่งผลให้ผู้วิจัยไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในครั้งนี้พบว่าวิธีการที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยทุ่นลอย และลูกตุ้มนี้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้แม้กระทั่งสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นน้อยโดยสามารถเก็บพลังงานในตัวเก็บประจุขนาด  $22 \mu\text{F}$  ได้มากที่สุดอยู่ที่  $10.5917 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้น้อยที่สุดอยู่ที่  $0.3968 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที และสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $5.0230 \mu\text{J}$  ในช่วงเวลา 10 นาที มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดอยู่ที่  $2.0522 \times 10^{-6}$  โดยผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้มากยิ่งขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงปัจจัยต่างๆ และทำการทดลองในสภาวะที่มีคลื่นมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข

จากการศึกษาพบว่าในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ มีความซับซ้อนที่มาก ส่งผลให้พบปัญหาในการวิจัยต่างๆ นานา ทั้งจากผู้วิจัย และความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมในการทดลองโดยปัญหาที่พบและวิธีแก้ไขมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ในการสร้างชิ้นงานบางส่วนเป็นงานฝีมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของขนาด ส่งผลให้การส่งถ่ายพลังงานไม่สามารถเป็นไปได้เต็มที่ และมีความคลาดเคลื่อน หรือไม่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ จึงควรให้ผู้มีประสบการณ์ในการสร้างชิ้นงานเป็นผู้สร้าง หรือใช้เทคโนโลยีด้านการสร้างชิ้นงานต่างๆ เช่น เทคโนโลยี CNC หรือ Laser Cutting มาช่วยเพื่อให้ชิ้นงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ระหว่างการทดลองเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในสถานที่จริงมีอุปกรณ์บางส่วนถูกกัดกร่อนเนื่องจากน้ำทะเล ซึ่งอาจจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของระบบ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมด้านวัสดุศาสตร์ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากขึ้น

3. ในส่วนของการทดลองที่ทะเลนั้นเกิดปัญหาความเสียหายของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เนื่องจากการรั่วซึมของภาชนะบรรจุ โดยผู้วิจัยได้ทำการอุดรอยรั่ว และทำการเคลือบวงจรด้วยกาวเทียน

4. ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลพบว่าได้ค่าพลังงานที่น้อย เนื่องจากบริเวณที่เก็บข้อมูลมีสภาพคลื่นที่เตี้ย เนื่องจากฤดูกาล และสภาพอากาศเมื่อเก็บข้อมูล จึงควรเลือกสถานที่ที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลมากขึ้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลมีหลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบนั้นเหมาะสมกับคุณสมบัติของคลื่นที่แตกต่างกัน ในการพัฒนา และต่อยอดการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลนี้ ควรยึดจากคุณสมบัติของคลื่นบริเวณที่สนใจเป็นปัจจัยกลุ่มแรกในการออกแบบ และพัฒนาเพื่อที่จะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในด้านพลังงานจะพบได้ว่า ระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน จะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ในปริมาณที่น้อย จึงควรมีระบบจัดการพลังงานในการจัดสรรพลังงานให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันต่อไป โดยต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานที่อุปกรณ์ต่างๆ ใช้งาน เวลาในการทำงานหนึ่งรอบของระบบ เป็นต้น เพื่อที่จะทำให้ระบบที่ออกแบบมาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia the free encyclopedia. “Energy Harvesting” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/Energy\\_harvesting](http://en.wikipedia.org/Energy_harvesting). 2013.
- [2] Wikipedia the free encyclopedia. “Ocean” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/Ocean>. 2013.
- [3] กรมอุตุนิยมวิทยา “พยากรณ์อากาศเพื่อการเดินเรือ” [Online]. Available: [http://www.tmd.go.th/shiping\\_forecast.php](http://www.tmd.go.th/shiping_forecast.php).
- [4] Wikipedia the free encyclopedia. “Wave Power” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/Wave\\_power](http://en.wikipedia.org/Wave_power). 2013.
- [5] พรชัย สีลาพร. “เทคโนโลยี Energy Harvesting การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 378, ตุลาคม 2555. หน้า 153-165.
- [6] ยุทธนา ตันติวิวัฒน์. “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก” ชงโคสาร ฉบับที่ 1/2551. เมษายน 2551.
- [7] Fujitsu. “Fujitsu develops hybrid energy harvesting device for generating electricity” [Online]. Available: <http://www.fujitsu.com> 9 ธันวาคม 2010.
- [8] ดร.มณฑล แก่นมณี. “วิทยาศาสตร์ทางน้ำเบื้องต้น” [Online]. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] Wikipedia the free encyclopedia. “Microelectromechanical systems” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/MEMS>. 2013.
- [10] Kara Lemar “Nanotribology and MEMS ” [Online] Available: <http://theofficialstleblog.blogspot.com/> 9 November 2010.
- [11] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง, ถาวร สุวรรณกิจ “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน” THE JOURNAL OF APPLIED SCIENCE., vol. 8, no. 1 June 2009.
- [12] Aurelienr “The Piezoelectric Effect” [Online]. Available: <http://www.aureliner.com/electronique/piezo/>
- [13] Piezo systems, Inc. “Introduction to Piezo Transducers” [Online]. Available: <http://www.piezo.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Wikipedia the free encyclopedia. “**Microcontroller**” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>. 2013.
- [15] Nicegear. “**Atmega32U4**” [Online]. Available: <http://nicegear.co.nz/>. 2014.
- [16] Wikipedia the free encyclopedia. “**I<sup>2</sup>C**” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C>. 2014.
- [17] John Heritage. “**I2C BUS**” [Online]. Available: <http://www.johnheritage.co.uk/i2c-bus/>. 2014.
- [18] Wikipedia the free encyclopedia. “**Serial Peripheral Interface Bus**” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Pheripheral\\_Interface\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Pheripheral_Interface_Bus). 2014.
- [19] Byte Paradigm. “**Introduction to I<sup>2</sup>C and SPI protocols**” [Online]. Available: <http://www.byteparadigm.com/applications/>.
- [20] Wikipedia the free encyclopedia. “**Analog-to-digital converter**” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/Analog-to-digital converter](http://en.wikipedia.org/Analog-to-digital%20converter). 2013.
- [21] Wikipedia the free encyclopedia. “**Secure Digital**” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/Secure\\_Digital](http://en.wikipedia.org/Secure_Digital). 2013.
- [22] The Lab Book Pages. “**SD Cards**” [Online]. Available: <http://www.labbookpages.co.uk/electronics/avrs/sdCards.html>. 2014.
- [23] Shane Colton “**The Balance Filter**” Chief Delphi white paper 25 June 2007
- [24] PIEZO SYSTEM, INC. “**Standard brass reinforced extension sensors (Generators)**” Piezo Systems, Catalog #8 (2011) page 34
- [25] EC21 Global B2B Marketplace. “**Purse Seine & Gill Net Floats**” [Online]. Available: <http://shfloats21.en.ec21.com/>. 2014.
- [26] Arduino.in.th. “**3-Axis Accelerometer/Gyro Module (MPU6050)**” [Online]. Available: <http://www.arduino.in.th/product>. 2014.
- [27] ห้องปฏิบัติการระบบสมองกลฝังตัว “**การใช้งานบอร์ด DFRobot Dreamer Nano (Leonardo Compatible)**” [Online]. Available: <http://www.ee.kmutnb.ac.th/eerobot/es/learning/> 19 ตุลาคม 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

# โปรแกรมอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงาน

ในการเก็บข้อมูลการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเล และการเคลื่อนที่ของโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานจำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจัดการข้อมูลเพื่อทำการบันทึกค่าลงในเอสดีการ์ด โดยในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จำเป็นต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อจัดการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการทำงานของโปรแกรมอุปกรณ์เก็บข้อมูลโครงสร้างส่งถ่ายพลังงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีรายละเอียดโปรแกรมดังต่อไปนี้

### ก.1 โปรแกรมส่วนการประกาศตัวแปร

```
#include<TimerOne.h>
#include<SPI.h>
#include<SD.h>
#include<Wire.h>
//define Pin
#define cs 23
#define sw1 22 //Start bottom
#define en_P 7
#define en_D 8
#define analog0 A7
#define LED1 12 //Working Status
#define LED2 11 //Done Status
#define LED3 10 //Ready to start
#define LED4 9 //No Sd card or Sd card error
//define for mpu6050 address
#define MPU6050_ADDRESS0 0x68 //AD0 = LOW
//#define MPU6050_ADDRESS1 0x69 //AD0 = HIGH
//define mpu register
#define MPU6050_AUX_VDDIO 0x01 // R/W
#define MPU6050_SMPLRT_DIV 0x19 // R/W
#define MPU6050_CONFIG 0x1A // R/W
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้จะเป็นให้ด้วยใจก็ตาม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define MPU6050_GYRO_CONFIG      0x1B // R/W
#define MPU6050_ACCEL_CONFIG     0x1C // R/W
#define MPU6050_FF_THR           0x1D // R/W
#define MPU6050_FF_DUR          0x1E // R/W
#define MPU6050_MOT_THR         0x1F // R/W
#define MPU6050_MOT_DUR         0x20 // R/W
#define MPU6050_ZRMOT_THR       0x21 // R/W
#define MPU6050_ZRMOT_DUR       0x22 // R/W
#define MPU6050_FIFO_EN         0x23 // R/W
#define MPU6050_I2C_MST_CTRL     0x24 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV0_ADDR   0x25 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV0_REG    0x26 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV0_CTRL   0x27 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV1_ADDR   0x28 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV1_REG    0x29 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV1_CTRL   0x2A // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV2_ADDR   0x2B // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV2_REG    0x2C // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV2_CTRL   0x2D // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV3_ADDR   0x2E // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV3_REG    0x2F // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV3_CTRL   0x30 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV4_ADDR   0x31 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV4_REG    0x32 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV4_DO     0x33 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV4_CTRL   0x34 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV4_DI     0x35 // R
#define MPU6050_I2C_MST_STATUS   0x36 // R
#define MPU6050_INT_PIN_CFG     0x37 // R/W
#define MPU6050_INT_ENABLE      0x38 // R/W
#define MPU6050_INT_STATUS      0x3A // R
#define MPU6050_ACCEL_XOUT_H     0x3B // R
#define MPU6050_ACCEL_XOUT_L     0x3C // R

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อธุรกิจเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตามโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define MPU6050_ACCEL_YOUT_H    0x3D // R
#define MPU6050_ACCEL_YOUT_L    0x3E // R
#define MPU6050_ACCEL_ZOUT_H    0x3F // R
#define MPU6050_ACCEL_ZOUT_L    0x40 // R
#define MPU6050_TEMP_OUT_H      0x41 // R
#define MPU6050_TEMP_OUT_L      0x42 // R
#define MPU6050_GYRO_XOUT_H     0x43 // R
#define MPU6050_GYRO_XOUT_L     0x44 // R
#define MPU6050_GYRO_YOUT_H     0x45 // R
#define MPU6050_GYRO_YOUT_L     0x46 // R
#define MPU6050_GYRO_ZOUT_H     0x47 // R
#define MPU6050_GYRO_ZOUT_L     0x48 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_00 0x49 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_01 0x4A // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_02 0x4B // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_03 0x4C // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_04 0x4D // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_05 0x4E // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_06 0x4F // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_07 0x50 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_08 0x51 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_09 0x52 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_10 0x53 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_11 0x54 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_12 0x55 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_13 0x56 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_14 0x57 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_15 0x58 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_16 0x59 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_17 0x5A // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_18 0x5B // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_19 0x5C // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_20 0x5D // R

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าเห็นเป็นข้อตกลงเบื้องต้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_21  0x5E  // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_22  0x5F  // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_23  0x60  // R
#define MPU6050_MOT_DETECT_STATUS  0x61  // R
#define MPU6050_I2C_SLV0_DO        0x63  // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV1_DO        0x64  // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV2_DO        0x65  // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV3_DO        0x66  // R/W
#define MPU6050_I2C_MST_DELAY_CTRL 0x67  // R/W
#define MPU6050_SIGNAL_PATH_RESET  0x68  // R/W
#define MPU6050_MOT_DETECT_CTRL    0x69  // R/W
#define MPU6050_USER_CTRL          0x6A  // R/W
#define MPU6050_PWR_MGMT_1         0x6B  // R/W
#define MPU6050_PWR_MGMT_2         0x6C  // R/W
#define MPU6050_FIFO_COUNTH        0x72  // R/W
#define MPU6050_FIFO_COUNTL        0x73  // R/W
#define MPU6050_FIFO_R_W           0x74  // R/W
#define MPU6050_WHO_AM_I           0x75  // R
typedef union accel_t_gyro_union
{
    struct
    {
        uint8_t x_accel_h;
        uint8_t x_accel_l;
        uint8_t y_accel_h;
        uint8_t y_accel_l;
        uint8_t z_accel_h;
        uint8_t z_accel_l;
        uint8_t t_h;
        uint8_t t_l;
        uint8_t x_gyro_h;
        uint8_t x_gyro_l;
        uint8_t y_gyro_h;
    }

```

```

uint8_t y_gyro_l;
uint8_t z_gyro_h;
uint8_t z_gyro_l;
} reg;
struct
{
  int16_t x_accel;
  int16_t y_accel;
  int16_t z_accel;
  int16_t temperature;
  int16_t x_gyro;
  int16_t y_gyro;
  int16_t z_gyro;
} value;
};
File myFile;
int count = 1, num = 6000; // count = Current value order, num = limit 10000/10 min
boolean flag = false;
int encode1 = 0, encode2 = 0, revolution = 0;
accel_t_gyro_union accel_t_gyro0; //Structure for MPU6050-0
#define resolution 200

```

## ก.2 โปรแกรมส่วนการทำงาน

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  //Initialize UART:
  Serial.begin(115200);

  //Initialize ADC:
  analogReference(INTERNAL);

  // Initialize the digital pin:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(sw1, INPUT_PULLUP);
pinMode(en_P, INPUT_PULLUP);
pinMode(en_D, INPUT_PULLUP);
pinMode(cs, OUTPUT);
pinMode(LED1, OUTPUT);
pinMode(LED2, OUTPUT);
pinMode(LED3, OUTPUT);
pinMode(LED4, OUTPUT);
digitalWrite(LED1, HIGH);
digitalWrite(LED2, HIGH);
digitalWrite(LED3, HIGH);
digitalWrite(LED4, HIGH);
//initialize SD-Card:
Serial.print("Initializing SD card...");
// make sure that the default chip select pin is set to
// output, even if you don't use it:
pinMode(10, OUTPUT);
if (!SD.begin(cs)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  digitalWrite(LED4, LOW);
  return;
}
Serial.println("card initialized.");

// Initialize the 'Wire' class for the I2C-bus.
Wire.begin();
uint8_t c;
int error;

//Initial MPU6050-0
// Initialize Accelerometer
error = MPU6050_read (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_WHO_AM_I, &c, 1);
Serial.print("Who_am_I0: ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ทำกรณีใดทั้งสิ้น เป็นงานที่จัดทำขึ้นเพื่อแจกจ่ายฟรีถึงมือคุณเอกสารทุกชิ้นที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(c, HEX);
Serial.print(", error = ");
Serial.println(error, DEC);
error = MPU6050_read (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_PWR_MGMT_2, &c, 1);
Serial.print("PWR_MGMT_2-0 : ");
Serial.print(c, HEX);
Serial.print(", error = ");
Serial.println(error, DEC);
MPU6050_write_reg (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_PWR_MGMT_1, 0);
//MPU6050_write_reg (MPU6050_ADDRESS0,MPU6050_PWR_MGMT_2, 0);
MPU6050_write_reg (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_GYRO_CONFIG, 16);
error = MPU6050_read (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_GYRO_CONFIG, &c, 1);
Serial.print("MPU6050_GYRO_CONFIG0 : ");
Serial.print(c, HEX);
Serial.print(", error = ");
Serial.println(error, DEC);

while (digitalRead(sw1)) {
  digitalWrite(LED3, LOW);
}
digitalWrite(LED3, HIGH);
Serial.println("START");

//Set Header
myFile = SD.open("test.csv", FILE_WRITE);
myFile.println("No,Ax,Ay,Az,Gx,Gy,Gz,Temp,Pos,RPM,Vo");
myFile.close(); // close the file

//Calibrate Accelerometer

// Initialize timer0(Encoder),timer1:
Timer1.initialize(100000); // set a timer of length 100000 microseconds (or 100
milisec - or 10Hz => the led will blink 5 times, 5 cycles of on-and-off, per second)
Timer1.attachInterrupt( timerIsr ); // attach the service routine here

```

```

//Initialize Eteranl Interrupt
attachInterrupt(4, count_n, FALLING);
}
double accel[6], gyro[6], angle[6] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};
void loop() {

//Read MPU6050-0:
int error0 = MPU6050_read (MPU6050_ADDRESS0, MPU6050_ACCEL_XOUT_H,
(uint8_t *) &accel_t_gyro0, sizeof(accel_t_gyro0));
uint8_t swap;
#define SWAP(x,y) swap = x; x = y; y = swap

//swap MPU6050-0
SWAP (accel_t_gyro0.reg.x_accel_h, accel_t_gyro0.reg.x_accel_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.y_accel_h, accel_t_gyro0.reg.y_accel_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.z_accel_h, accel_t_gyro0.reg.z_accel_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.t_h, accel_t_gyro0.reg.t_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.x_gyro_h, accel_t_gyro0.reg.x_gyro_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.y_gyro_h, accel_t_gyro0.reg.y_gyro_l);
SWAP (accel_t_gyro0.reg.z_gyro_h, accel_t_gyro0.reg.z_gyro_l);
if (analogRead(analog0) == 0) digitalWrite(LED2, LOW);
else digitalWrite(LED2, HIGH);
if (count <= num && flag == true ) {
digitalWrite(LED3, HIGH);
myFile = SD.open("test.csv", FILE_WRITE);
Serial.println(count);
myFile.print(count++, DEC);
myFile.print(",");
//SD.print MPU6050-0
// Print the raw acceleration values.
myFile.print(accel_t_gyro0.value.x_accel, DEC);
myFile.print(",");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเราใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะในรูปแบบอื่น ๆ หนึ่งปีข้างหน้าจะออกโปรแกรมใหม่มาและตัวนี้จริงจึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

myFile.print(accel_t_gyro0.value.y_accel, DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(accel_t_gyro0.value.z_accel, DEC);
myFile.print(",");

```

```

// Print the raw gyro values.

```

```

myFile.print(accel_t_gyro0.value.x_gyro, DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(accel_t_gyro0.value.y_gyro, DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(accel_t_gyro0.value.z_gyro, DEC);
myFile.print(",");

```

```

// Print the raw temp

```

```

myFile.print(accel_t_gyro0.value.temperature, DEC);
myFile.print(",");

```

```

//Print Encoder

```

```

myFile.print(encode1, DEC);
myFile.print(",");
myFile.print(revolution, DEC);
myFile.print(",");

```

```

//Print Law Vcap

```

```

myFile.println(analogRead(analog0));

```

```

flag = false;

```

```

digitalWrite(LED1, HIGH);

```

```

myFile.close(); // close the file

```

```

}

```

```

else if (digitalRead(cs) && count > num) {

```

```

    digitalWrite(LED3, LOW);

```

```

    Serial.println("DONE");

```

```

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void timerIsr() {
  flag = true;
  digitalWrite(LED1, LOW);
  revolution = (encode1 - encode2) * 3;
  encode2 = encode1;
}
// -----
// MPU6050_read
//
// This is a common function to read multiple bytes
// from an I2C device.
//
// It uses the boolean parameter for Wire.endTransmission()
// to be able to hold or release the I2C-bus.
// This is implemented in Arduino 1.0.1.
//
// Only this function is used to read.
// There is no function for a single byte.
//
int MPU6050_read(int address, int start, uint8_t *buffer, int size)
{
  int i, n, error;
  Wire.beginTransmission(address);
  n = Wire.write(start);
  if (n != 1) return (-10);
  n = Wire.endTransmission(false); // hold the I2C-bus
  if (n != 0) return (n);
  // Third parameter is true: relase I2C-bus after data is read.
  Wire.requestFrom(address, size, true);
  i = 0;
  while (Wire.available() && i < size)
    buffer[i++] = Wire.read();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if ( i != size) return (-11);
return (0); // return : no error
}
// -----
// MPU6050_write
//
// This is a common function to write multiple bytes to an I2C device.
//
// If only a single register is written,
// use the function MPU_6050_write_reg().
//
// Parameters:
// start : Start address, use a define for the register
// pData : A pointer to the data to write.
// size : The number of bytes to write.
//
// If only a single register is written, a pointer
// to the data has to be used, and the size is
// a single byte:
// int data = 0; // the data to write
// MPU6050_write (MPU6050_PWR_MGMT_1, &c, 1);
//
int MPU6050_write(int address, int start, const uint8_t *pData, int size)
{
    int n, error;
    Wire.beginTransaction(address);
    n = Wire.write(start); // write the start address
    if (n != 1) return (-20);
    n = Wire.write(pData, size); // write data bytes
    if (n != size) return (-21);
    error = Wire.endTransmission(true); // release the I2C-bus
    if (error != 0) return (error);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น" ลิขสิทธิ์นี้ให้ด้วยใจกว้าง และต้องแจ้งอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

return (0);    // return : no error
}
// -----
// MPU6050_write_reg
// An extra function to write a single register.
// It is just a wrapper around the MPU_6050_write()
// function, and it is only a convenient function
// to make it easier to write a single register.
//
int MPU6050_write_reg(int address, int reg, uint8_t data)
{
    int error;
    error = MPU6050_write(address, reg, &data, 1);
    return (error);
}
void count_n() {
    if (digitalRead(en_D)) encode1++;
    else encode1--;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ นายสาธิต ศรียุทธไกร

วันเดือนปีเกิด 9 ตุลาคม พ.ศ. 1992

ที่อยู่ปัจจุบัน 52/4 ซอยแยก ถนน ณ ระนอง แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110

เบอร์โทรศัพท์ (+66) 89-897-1249

E-mail zy.by.me@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2007 - 2009 โรงเรียนอานวยศิลป์  
สายวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์

2010 - 2013 หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้