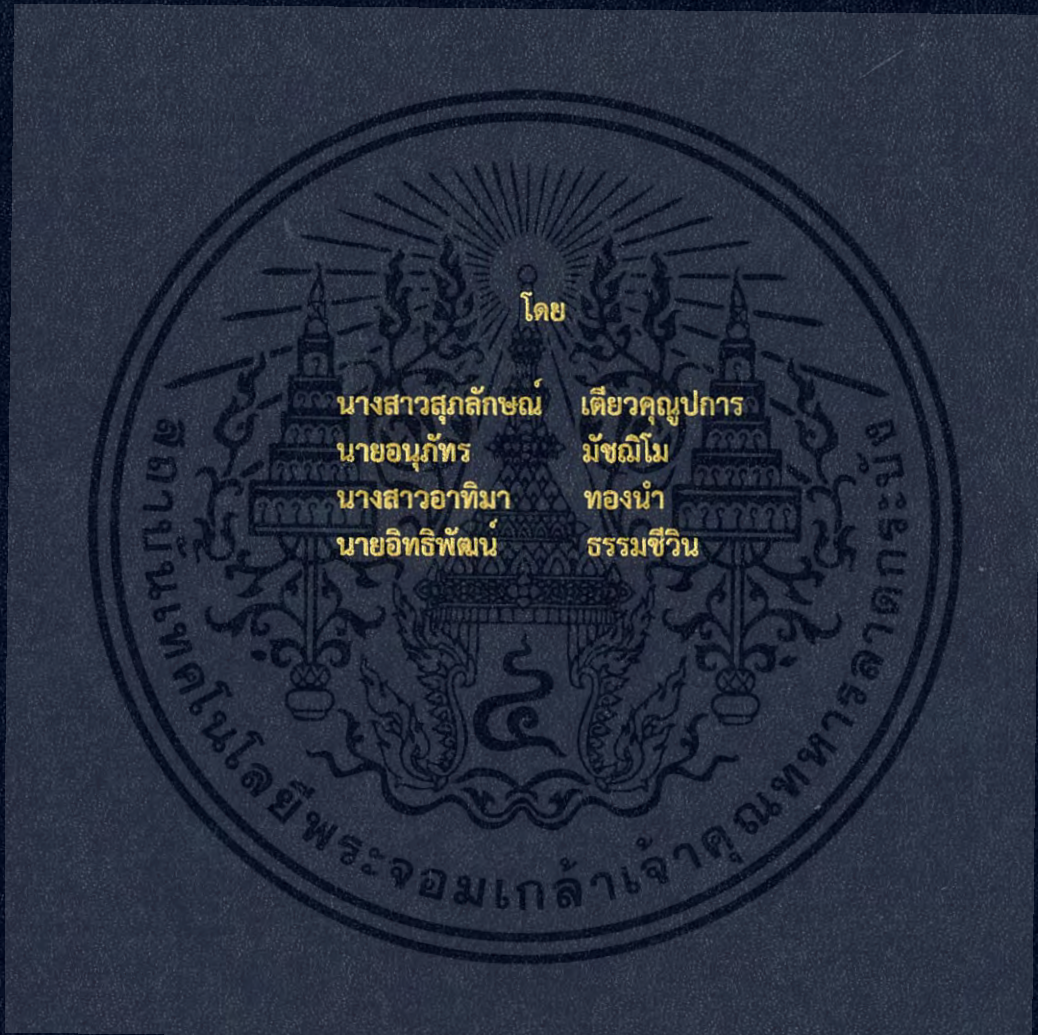


การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ
PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ
PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY



นางสาวสุภลักษณ์ เดียวคุณูปการ
นายอนุภัทร มัชฌิโม
นางสาวอาทิมา ทองนำ
นายอิทธิพัฒน์ ธรรมชีวิน

b. 00266065

TB00242

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาแสน

รศ.ดร.อรรถพล เเง่าพิทักษ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

- 1.นางสาวสุภลักษณ์ เตียวคุณูปการ
- 2.นายอนุภัทร มัชฌิโม
- 3.นางสาวอาทิมา ทองน้ำ
- 4.นายอิทธิพัฒน์ ธรรมชีวิน



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณพล เก่าพิทักษ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ

นางสาวสุภลักษณ์	เดี่ยวคุณูปการ
นายอนุภัทร	มัชฌิโม
นางสาวอาทิมา	ทองนำ
นายอิทธิพัฒน์	ธรรมชีวิน

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการเก็บสะสมพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบของเครื่องออกกำลังกายชนิดจักรยาน โดยนำจักรยานที่มีอยู่ มาดัดแปลงติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยอาศัยแรงทางกลจากการปั่นจักรยานมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า และเก็บลงแบตเตอรี่ จากผลการทดลองได้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าดังนี้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 500 มิลลิวัตต์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5.68 โวลต์ และ 88 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ ใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 2000 mAh เป็นเวลา 1363 นาที หรือ 23 ชั่วโมง การออกแบบชุดต้นแบบเครื่องออกกำลังกายสาธารณะที่มีการเก็บสะสมพลังงานด้วยแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้นำเสนอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งบริเวณสวนสาธารณะ หรือสถานที่ออกกำลังกาย เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ในอนาคต

PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY

Supalak Teawkunupakan

Anupat Matchimo

Artima Thongnam

Ittipat Thammachevin

Asst.Prof.Dr. Chaiyan Jettanasen Advisor

Assoc.Prof.Dr. Atthapol Ngaopitakkul Co-Advisor

Year 2017

Abstract

This project aims to present the prototype of public adaptive motion with harvesting energy feature from piezoelectric materials in form of exercise bicycle. The existing bicycle has been modify by installed piezoelectric plates. The mechanical force from motion of bicycle is converted to electrical energy and charge to battery. The result from testing prototype in term of electrical parameter is shown that at rated cycling, power can be generated at 500 mW with voltage and current at 5.68 V and 88 mA respectively. It can charge battery with capacity 2000 mAh at 1363 minute or approximately 23 hour. Design of propose prototype shown the suitability in application of piezoelectric material in public or exercise space with feature that can be used to charge and operate electronic device in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน และ รศ.ดร.อรรถพล เก่งพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เสมอมาและให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นแก่ คณะผู้จัดทำ ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้จนมาเป็นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	11
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	11
1.4 แผนการดำเนินงาน	12
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	13
1.5.1 ประโยชน์ทางสังคม	13
1.5.2 ประโยชน์ทางวิศวกรรมหรือพลังงาน	13
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)	14
2.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (full wave rectifier circuit)	15
2.2.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป (Center Tap Rectifier Circuit)	16
2.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)	17
2.3 ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (DC-DC CONVERTERS)	19
2.3.1 วงจรทบระดับแรงดันหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)	19
2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuit)	21
2.5 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด	22
2.6 แบตเตอรี่ (Battery)	23
2.7 อาดูยโน่ (Arduino)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและจำลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก	27
3.1 การจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	29
3.1.1 ผลการจำลองที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที	30
3.1.2 ผลการจำลองที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที	35
3.2 การออกแบบวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	42
3.3 การออกแบบอุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน	45
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	47
4.1 การเก็บพลังงานลงในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จ แบตเตอรี่	47
4.2 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร	49
4.3 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร	57
4.4 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ	82
ประวัติผู้เขียน	88

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 จักรยานสาธารณะ หรือ Velib	3
1.2 แสดงการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใส่ลงในสันรองเท้า	5
1.3 แสดงตำแหน่งการตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ของรถยนต์	6
2.1 ปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริก	14
2.2 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น	15
2.3 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทป	16
2.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	17
2.5 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	18
2.6 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)	19
2.7 แสดงโหมดการทำงานของวงจรของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ตามการปิด-เปิดของสวิตช์	19
2.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC7815	21
2.9 แสดงลักษณะการกระจายตัวของประจุขณะกำลังอัดประจุ (ซ้าย) เมื่ออัดประจุจนเต็ม (กลาง) ละเมื่อคายประจุ (ขวา)	23
2.10 แสดงแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Li-ion)	24
2.11 แสดงแบตเตอรี่แบบลิเทียม-โพลีเมอร์ (Lithium-Polymer)	25
2.12 อาดูยโน้ (Arduino)	26
3.1 แบบจำลองจักรยานออกกำลังกาย	27
3.2 การจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	29
3.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที	30
3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของแผ่นแม่เหล็ก	31
3.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที	32

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที	34
3.7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที	36
3.8 ระยะเวลาสั้นของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	36
3.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที	37
3.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที	39
3.11 การออกแบบวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	42
3.12 วงจรการควบคุมการเก็บพลังงานและจ่ายโหลดของแบตเตอรี่	44
3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน	45
4.1 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และควบคุมแบตเตอรี่	47
4.2 การทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า	48
4.3 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร	50
4.4 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร	53
4.5 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร	55
4.6 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร	58
4.7 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร	60
4.8 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร	63
4.9 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร	65
4.10 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร	68
4.11 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร	70
5.1 จักรยานออกกาลังกาย	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเพียโซอิเล็กทริก	8
3.1 สรุปผลการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	41
4.1 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร	57
4.2 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร	64
4.3 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ในเมืองนั้นเป็นสิ่งสำคัญ โดยการพัฒนาเมืองให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สู่การพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ทำให้เกิดแนวคิดสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ (Smart City)

เมืองอัจฉริยะ คือ เมืองที่ได้รับการออกแบบ โดยให้ความสำคัญใน 3 องค์ประกอบหลัก

[1] คือ

1. การพัฒนารูปแบบและโครงสร้างของเมืองที่สอดคล้องกับแนวคิดของเมืองอัจฉริยะ
2. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
3. การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ประกอบกับการนำเทคโนโลยีสารสนเทศ และข้อมูลมาช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรของเมืองเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

แนวคิดสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ มีวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ [2] ได้แก่

1. การทำให้เกิดพื้นที่เมืองที่มีคุณภาพในการจัดวางระบบสาธารณูปโภคของเมือง มีการบริหารจัดการพลังงานทั้งภาคการผลิต การส่งจ่ายและการใช้พลังงาน รวมทั้งส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ทั้งระบบทั่วไปและระบบที่ใช้ในการรองรับด้านเทคโนโลยี
2. เมืองมีความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านสารสนเทศและการสื่อสาร กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเมืองที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและอุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์ จะช่วยให้เมืองสามารถตอบสนองความต้องการในการพัฒนา ด้านอื่น ๆ ตามมาได้โดยง่าย
3. การพัฒนาฐานเศรษฐกิจและการลงทุนที่ควบคู่ไปกับกิจกรรมในเมือง เพื่อเป็นการรองรับการพัฒนาเมืองอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง

4. สร้างหน่วยงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับเมืองในอนาคต การวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีมีความจำเป็นเพราะเมืองต้องพึ่งพาการบริหารจัดการด้านเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลา โดยสามารถพัฒนาให้เกิดความสอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานของประชากรในแต่ละเมืองได้อย่างดี ทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

แนวคิดเมืองอัจฉริยะ ได้กำหนดหลักการสำคัญเอาไว้ 4 ข้อ และเป็นที่ยอมรับในวงกว้างว่าการเป็นเมืองอัจฉริยะได้ต้องมีคุณสมบัติ [3] ดังนี้

1. มีการใช้ระบบสาธารณูปโภค สาธารณูปการ ถนน อาคารและสิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่เมืองอย่างเต็มประสิทธิภาพ มีการบริหารจัดการพลังงาน ทั้งภาคการผลิต การส่งจ่ายและการใช้พลังงาน รวมทั้งส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อสนับสนุนสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมในเมืองนั้นให้เข้มแข็ง
2. มีความยืดหยุ่นสูง ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่ง่ายต่อการเรียนรู้ ง่ายต่อการใช้งาน ง่ายต่อการประยุกต์และปรับเปลี่ยน และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของเมืองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
3. เทคโนโลยี ข่าวสารข้อมูล เปิดกว้างและสามารถเข้าถึงแก่ผู้ใช้ในทุกระดับ ทุกเพศ ทุกวัย ทุกสถานภาพ ทั้งยังสามารถแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันได้ด้วย
4. เป็นเมืองแห่งคุณภาพชีวิตที่ดี มีความสุข ปลอดภัย เป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ บ่มเพาะนักธุรกิจ นักพัฒนาเพื่อสร้างให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมด้านต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา

จากบทความที่ [4] กล่าวถึงเมืองที่มีการพัฒนาเป็นเมืองอัจฉริยะ เช่น โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการสร้างเมืองอัจฉริยะขึ้นบริเวณชานเมืองที่ประกอบไปด้วยบ้านที่มีแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ และพลังงานที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) นอกจากนี้บริษัทผลิตรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่นอย่างนิสสัน ยังเปิดตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัวแรก คือ นิสสัน ลีฟ (NISSAN LEAF) ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาด้านพลังงานและลดมลพิษในอากาศอีกด้วย หรือ ปารีส ประเทศฝรั่งเศส เป็นเมืองที่ประสบความสำเร็จเรื่องจักรยานสาธารณะ หรือ Velib ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และยังมี การเปิดตัวรถไฟฟ้าสาธารณะขนาดเล็ก (EVs) หรือ Autolib เพื่อบรรเทาปัญหาการจราจรในเมืองอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 จักรยานสาธารณะ หรือ Velib

จากข้อมูลที่ [5]–[8] กล่าวถึงประโยชน์ของการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ เช่น บทความที่ [8] กล่าวถึงประโยชน์ด้านผังเมือง ซึ่งจะใช้ประโยชน์จากระบบคมนาคมขนส่ง ระบบสาธารณูปโภค และสาธารณูปการที่มีอยู่ได้อย่างเพียงพอหรือมีประสิทธิภาพ ปรับใช้เมืองให้มีประโยชน์มากขึ้นกว่าเดิม

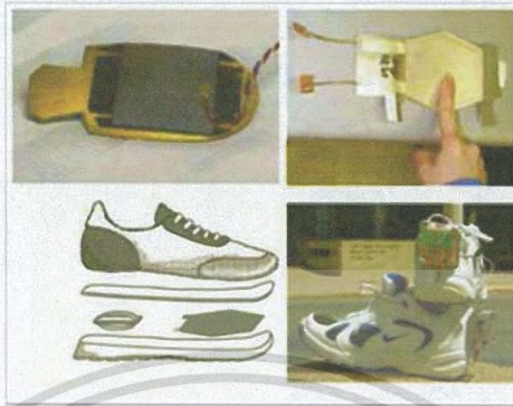
ในขณะที่มีการพัฒนาเมืองอัจฉริยะแบ่งการพัฒนาไปตามชุมชนต่าง ๆ ในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของชุมชนผู้สูงอายุ เนื่องจากจำนวนประชากรของผู้สูงอายุมีแนวโน้มที่มากขึ้นในแต่ละปี [9] โดยประชากรผู้สูงอายุคือ ประชากรที่อยู่ในวัยพึ่งพิง ทั้งในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสุขภาพ แสดงให้เห็นถึงปัญหาเรื่องสุขภาพทั้งด้านร่างกายและจิตใจของผู้สูงอายุ จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงเห็นว่าการออกกำลังกายในที่สาธารณะนั้นสามารถช่วยให้ผู้สูงอายุได้มีกิจกรรมทำ ก่อให้เกิดการผ่อนคลายทางจิตใจ มีสุขภาพที่ดี มีการพบปะกับเพื่อนในวัยเดียวกัน หรือต่างวัย มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน

กิจกรรมการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับวัยผู้สูงอายุนั้น [10] การปั่นจักรยาน ถือว่าเป็นการออกกำลังกายที่ทำได้โดยไม่ต้องออกแรงมาก แรงกระแทกที่กระทำกับข้อต่อต่าง ๆ ในร่างกาย น้อยกว่าการวิ่ง การปั่นจักรยานในที่สาธารณะนั้นเป็นลักษณะการปั่นอยู่กับที่ ทำให้ไม่ต้องห่วงเรื่องอันตรายจากการจราจรในชุมชน จากการศึกษาการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ การบริหารพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ของโลก และผลกระทบต่อมวลมนุษยชาติมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รัฐบาลและกระทรวงพลังงานเริ่มให้ความสำคัญในการหาหนทางแก้ไขปัญหา ให้ความสำคัญกับการส่งเสริม การใช้พลังงานทดแทน หรือพลังงานทางเลือก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในประเทศ ซึ่งพบว่าพลังงานทดแทน หรือ

พลังงานทางเลือกที่ประเทศไทยมี ได้แก่ พลังงานชีวมวลก๊าซชีวภาพอัด พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ไบโอดีเซล หรือพลังงานที่มาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น เพียโซอิเล็กทริก เป็นต้น [11]

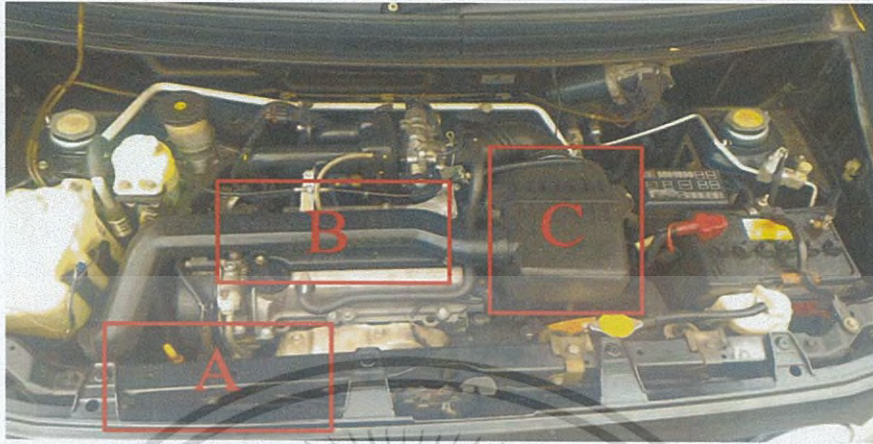
จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก พบว่า เพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุเซรามิกที่เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึงจะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงถือเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่เป็นการนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์กลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง และยังเป็นแนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงาน ในทางกลับกัน เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้า จะเกิดการยืดหดตัวเองได้ ขนาดของการยืดหดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ได้รับ คือเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล [12]

ปัจจุบันวัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย ขึ้นกับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่มีการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้วัสดุ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือเกิดแรงทางกล เช่น การใช้ประโยชน์จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการทำความสะอาด ในอุปกรณ์ล้างเครื่องมือแพทย์ ล้างผัก เครื่องล้างอัญมณี เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง เช่น 60 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเกิดการยืดหดตัวของวัสดุตามความถี่ที่ได้รับและส่งผ่านคลื่นความถี่ไปยังน้ำ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเครื่องมือ ผัก หรืออัญมณี โดยไม่ทำให้อุปกรณ์เสียหาย นอกจากนี้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกยังถูกนำไปวิจัยเพื่อการกักเก็บพลังงานคล้ายการทำงานของแบตเตอรี่ นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เสนอแนวคิดนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใส่ลงในสันรองเท้า ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการก้าวเดิน มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าตามคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ไม่ต้องการกำลังไฟฟ้ามก เช่น เครื่องวัดสัญญาณทางการแพทย์แบบติดตามตัว (Health Monitor) เครื่องเล่นเพลง (MP3) หรือโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 1.2 แสดงการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใส่ลงในรองเท้า

ในงานวิจัยของต่างประเทศโดย Giulia Bassani และคณะ [13] เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวพลังงานเชิงกลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อมนุษย์ จากผลการทดลองในห้องทดสอบนำไปใช้ประเมินพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้จากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะ ตัวอย่างเช่น การงอของหัวเข่าจากการวิ่งที่ความเร็ว 1.35 เอิร์ตซ์ จะได้กำลังทางไฟฟ้าประมาณ 2-2.6 ไมโครวัตต์ ในขณะที่เดียวกันถ้าเพิ่มแมโครไฟเบอร์คอมโพสิต (Macro-Fiber Composites: MFC) เป็นจำนวน 2 แผ่น ทำให้ได้กำลังไฟฟ้า 10.4 ไมโครวัตต์ ในผู้ป่วยที่ต้องทำกายภาพบำบัด สามารถผลิตพลังงานได้ในระหว่างการบำบัด โดยพลังงานที่ได้เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนาการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ พร้อมกับพัฒนาระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีการนำเพียโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้กับรถยนต์ ในงานวิจัย [14]-[16] เป็นการศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการขับเคลื่อนของรถยนต์ โดยการฝังวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในล้อรถยนต์ เมื่อเกิดแรงทางกลจากการหมุนของล้อรถ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ พลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถเก็บสะสมลงแบตเตอรี่ หรือจ่ายให้กับเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันในยางรถยนต์ [14] ที่ความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ล้อรถจะมีความเร็ว 875 รอบต่อนาที ได้ค่ากระแสไฟฟ้า 35 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งสามารถนำไปชาร์จแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [16] ในงานวิจัย [17] โดย Syahrul Hisham Mohamad และคณะ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ของรถยนต์ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.3 จากการทดสอบ พบว่าจุด B มีการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมที่สุด โดยในช่วงแรกเริ่มต้น แผ่นเพียโซอิเล็กทริกสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 2.5 โวลต์ และเมื่อทดสอบบนถนน พบว่าสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ถึง 8 โวลต์ ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดในการทดสอบ



รูปที่ 1.3 แสดงตำแหน่งการตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ของรถยนต์

นอกจากการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้กับรถยนต์แล้ว ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้กับรถจักรยาน [18]-[20] ในงานวิจัย [18] โดย E. Minazara และคณะ เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ บนรถจักรยาน หรืออุปกรณ์พกพาอื่น ๆ ที่นักปั่นจักรยานใช้ เช่น แอลอีดี จอแสดงผล และเซนเซอร์ เป็นต้นซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของแบตเตอรี่ ทั้งเรื่องความจุและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการพัฒนานำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนทางกลของรถจักรยานขณะปั่น เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์เหล่านี้ แทนการใช้แบตเตอรี่ โดยเริ่มจากการตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่าง ๆ บนรถจักรยาน เพื่อวิเคราะห์ความถี่ของการสั่นสะเทือนในแต่ละจุด ในงานวิจัย [20] โดยภาณุ ไทยนิรมิต เป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานทางกลเปลี่ยนเป็นพลังงานทางไฟฟ้าจากการหมุนในแนวรัศมีของล้อรถจักรยานด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดพีแซดที (PZT) ที่นำมาติดตั้งบนโครงสร้างที่เรียกว่า บีมคานติลิวเวอร์ (cantilever beam) ด้านละหนึ่งชุด ในงานวิจัยที่ [21]-[23] กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจำลองและตรวจสอบแผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ งานวิจัย [21] กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับเทคโนโลยีของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย โดยออกแบบและจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผ่นโดยการใช้การสั่นทางกล งานวิจัยที่ [23] เป็นการตรวจสอบการดำเนินการของวาล์วนิวเมติกโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกแบบฟิล์ม และวิเคราะห์การทำงาน งานวิจัยที่ [24] กล่าวถึงการวิจัยเกี่ยวกับสารเชิงประกอบในแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ในงานวิจัยที่ [25]-[26] กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับวัสดุอื่น ๆ งานวิจัยที่ [25] กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองและการตรวจสอบวงจร วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หม้อแปลงเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการประยุกต์ใช้กับยานยนต์

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์เสถียรภาพที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่มีความถี่ต่ำหรือมีปัญหาเรื่องความถี่ [27]-[30] งานวิจัย [27] กล่าวถึงการออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีความถี่ต่ำทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มีศักยภาพที่ดีขึ้นจากการรับแรงทางกลจากการสั่นสะเทือน งานวิจัยที่ [30] กล่าวถึงการเกี่ยวกับการปรับความถี่โดยเทคนิคไบแอสฟลิป (Bias – Flip) ของอุปกรณ์ที่เก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนเชิงกลหรือการสั่น โดยมีปัญหาว่า ความถี่ของสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดมักจะไม่ตรงกับความถี่ของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานงานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีการปรับไฟฟ้าและเสนอเทคนิคไบแอสฟลิป (Bias – Flip) โดยใช้อิมพีแดนซ์แบบปรับขนาดได้

ทั้งนี้นอกจากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการประยุกต์ใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกกับอุปกรณ์หรือการนำไปสร้างสรรค์สิ่งต่าง ๆ แล้วยังมีการค้นคว้าศึกษาเกี่ยวกับการเก็บพลังงานที่ได้ลงในแบตเตอรี่อีกด้วย งานวิจัยที่ [31]-[40] กล่าวถึงการศึกษากาเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ในรูปแบบต่าง ๆ งานวิจัยที่ [31] การวิเคราะห์เสถียรภาพของการเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายโดยใช้อินเวอร์เตอร์เฟสอินเวอร์ชันกำลัง แสดงให้เห็นว่าความต้านทานภายในและแรงดันภายในของแบตเตอรี่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบ งานวิจัยที่ [35] เครื่องชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวแปลงแบบหลายขั้นตอนงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงตัวแปลงกระแสไฟตรงหลายขั้นตอนเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ด้วยขั้นตอนการชาร์จไฟสามขั้นตอนและพร้อมกันในการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ระบบนี้ใช้แบตเตอรี่สำรองร่วมกับตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางเพื่อให้สมดุลกับการไหลของพลังงาน เพื่อเติมเต็มพลังงานแสงอาทิตย์เข้าและพลังงานที่ต้องการจากแบตเตอรี่หลัก ต้นแบบฮาร์ดแวร์แสดงฟังก์ชันการทำงานของระบบภายใต้ขั้นตอนการชาร์จทั้งสาม งานวิจัยที่ [38] กล่าวถึงการออกแบบการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับการลดการสูญเสียพลังงาน โดยการสูญเสียพลังงานระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้กลายเป็นจุดหลักสำหรับการติดตั้งแบตเตอรี่ในยานพาหนะไฟฟ้า (EVs) งานวิจัยนี้เสนอวิธีการลดการสูญเสียพลังงานใหม่ด้วยความถูกต้องและความซับซ้อนต่ำในการกำหนดรูปแบบการชาร์จกระแสไฟฟ้ารูปแบบวงจรที่เหมือนกัน

ตารางที่ 1.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเพียโซอิเล็กทริก

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีดำเนินการ	การดำเนินการ
[13]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์	การเก็บเกี่ยวพลังงานเชิงกลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อมนุษย์	การทดลอง
[14]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับรถยนต์	โดยการฝังวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในล้อรถยนต์ เมื่อเกิดแรงทางกล จากการหมุนของล้อรถสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา	การทดลอง
[15]			การทดลอง
[16]			การทดลอง
[17]			การตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่างๆในเครื่องยนต์ของรถยนต์ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้า
[18]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับรถจักรยาน	การตรวจสอบการสั่นสะเทือนจากจุดต่างๆบนรถจักรยานเพื่อวิเคราะห์ความถี่ของการสั่นสะเทือนในแต่ละจุด	การทดลอง
[19]			การทดลอง
[20]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับรถจักรยาน	การเก็บเกี่ยวพลังงานทางกลเปลี่ยนเป็นพลังงานทางไฟฟ้าจากการหมุนในแนวรัศมีของล้อรถจักรยานด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิด พีแซดที (PZT) ที่นำมาติดลงบนโครงสร้าง	การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีดำเนินการ	การดำเนินการ	
[21]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับเทคโนโลยีของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย	การจำลองและการตรวจสอบ	
[22]		การวิเคราะห์เสถียรภาพของหม้อแปลงเพียโซอิเล็กทริกด้านผลกระทบทางความร้อนกับโหลดฟลูออเรสเซนต์	การจำลองและการตรวจสอบ	
[23]		การตรวจสอบการดำเนินการของวาล์วนิวเมติกโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกแบบฟิล์ม	การจำลองและการตรวจสอบ	
[24]		การวิจัยเกี่ยวกับสารเชิงประกอบในแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	การวิเคราะห์เกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบของสารเพโรอิเล็กทริก และแผ่นเพียโซอิเล็กทริก	การวิจัย
[25]		การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับวัสดุอื่น ๆ	การสร้างแบบจำลองและการตรวจสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง โดยใช้หม้อแปลงเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการประยุกต์ใช้กับยานยนต์	การจำลองและการตรวจสอบ
[26]		การจำลอง และการตรวจสอบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ฝังในรองเท้า	การจำลองและการตรวจสอบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีดำเนินการ	การดำเนินการ
[27]		ออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีความถี่ต่ำ ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มีศักยภาพที่ดีขึ้นจากการรับแรงทางกลจากการสั่นสะเทือน	การออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพ
[28]	การประยุกต์ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกกับอุปกรณ์ที่มีความถี่ต่ำ	พิจารณาระบบเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ในช่วงกว้างของความถี่ที่ 500 กิโลเฮิรตซ์	การจำลองและการตรวจสอบ
[29]		การจับคู่ความถี่ของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่มีคลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ	การจำลองและการตรวจสอบ
[30]		การเกี่ยวกับการปรับความถี่โดยเทคนิค Bias - Flip ของอุปกรณ์ที่เก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือนเชิงกลหรือการสั่น	การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นว่าพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกถือเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ ในปัจจุบันการรักษาสุขภาพและการออกกำลังกายกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากท่ามกลางสภาพสังคมที่มีความเป็นเมืองมากขึ้น หนึ่งในรูปแบบของการออกกำลังกายที่ได้รับความนิยมคือ การปั่นจักรยาน จึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องออกกำลังกายที่ดัดแปลงมาจากจักรยานที่ไม่ใช่แล้ว โดยนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการปั่นจักรยานมาแปลงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะใช้ร่วมกับวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งไม่สามารถเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วจึงนำพลังงานมาเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ และจ่ายให้โทรศัพท์มือถือ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษา และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก
2. เพื่อนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้กับเครื่องออกกำลังกาย
3. ศึกษาการกักเก็บพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยเก็บเข้าแบตเตอรี่ และใช้ในการจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

ขอบเขตในการศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ คือ การออกแบบเครื่องออกกำลังกายที่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปเก็บอยู่ในรูปของแบตเตอรี่ โดยใช้ความเร็วในการปั่นที่ 100-140 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 2000 mAh เป็นเวลา 1363 นาที หรือ 23 ชั่วโมง

1.4 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	ภาคเรียนที่ 1																ภาคเรียนที่ 2																			
	ก.ย. 60				ต.ค. 60				พ.ย. 60				ธ.ค. 60				ม.ค. 61				ก.พ. 61				มี.ค. 61				เม.ย. 61							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1. รวบรวมและศึกษาความรู้เกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริก และริเริ่มการออกแบบเครื่องออกกำลังกาย																																				
2. ศึกษาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำเครื่องออกกำลังกาย																																				
3. ศึกษาทฤษฎีของวงจรเพิ่มกระแสให้กับแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยเลือกใช้วงจรที่ไม่ใช่ไฟเลี้ยง																																				
4. ศึกษาการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน																																				
5. ทำการจำลองระบบ วิเคราะห์ค่าแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุต โดยการสร้างแบบจำลอง																																				
6. ทำชิ้นงาน เครื่องออกกำลังกายที่ดัดแปลงจากจักรยานที่ไม่ใช้แล้ว																																				
7. ลงมือทำวงจรที่ใช้งานได้จริงโดยไม่ใช้ไฟเลี้ยง โดยให้ผลตรงกับกรจำลองมากที่สุด																																				
8. แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น พร้อมสรุปผลที่ได้รับจากการทำโครงการนี้																																				

←—————→ แผนที่ปฏิบัติจริง ←- - - - -> แผนที่วางไว้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ประโยชน์ทางสังคม

1. สร้างเครื่องออกกำลังกายชนิดจักรยานเพียโซอิเล็กทริกสาธารณะให้แก่ชุมชน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้คนในชุมชนได้มีกิจกรรมทำร่วมกัน และมีสุขภาพแข็งแรง
2. เป็นการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5.2 ประโยชน์ทางวิศวกรรมหรือพลังงาน

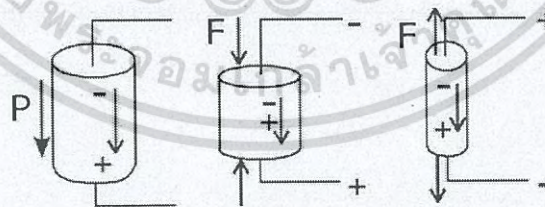
1. ทำให้เข้าใจคุณสมบัติและหลักการทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก
2. สามารถนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้กับวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และสามารถจ่ายให้โหลดชนิดต่าง ๆ
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีสมัยใหม่และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อลดการใช้พลังงาน เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกในอนาคต
4. ได้นำทฤษฎีที่ศึกษาเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

บทที่ 2

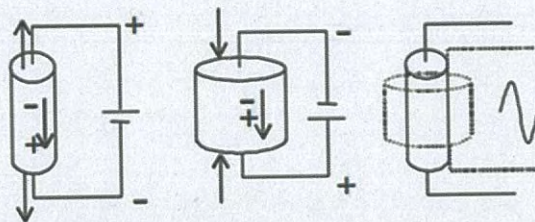
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (Mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect) หรือ ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางตรง (Direct piezoelectric effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) ซึ่งถูกค้นพบโดย Pierre Curie และ Jacques Curie ในปี ค.ศ. 1880 ทั้งสองพบว่าเมื่อให้แรงกดแก่แร่ผลึกบางชนิด เช่น ทัวร์มาลีน (Tourmaline) ควอตซ์ (Quartz) โทปาซ (Topaz) และเกลือโรเชลล์ (Rochelle salt) จะมีประจุบวกผิวหน้าด้านหนึ่ง และมีประจุลบด้านหนึ่งของผลึก โดยที่ปริมาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงกด และเมื่อนำแรงกดออก ประจุที่ผิวหน้าทั้งสองจะหายไป นั่นคือทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่อออกแรงทางกลนั่นเอง ในทางกลับกัน เมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้า ทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์คอนเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (Converse piezoelectric effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข) ซึ่งถูกค้นพบโดย Lippman และในปี ค.ศ. 1881 โดยอาศัยทฤษฎีเทอร์โมไดนามิก และได้รับการพิสูจน์โดย Pierre Curie และ Jacques Curie ในปี ค.ศ. 1881 เช่นกัน โดยการเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ [41]



(ก) Direct piezoelectric effect

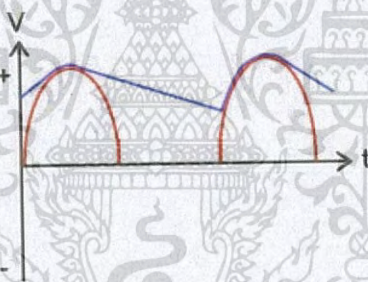


(ข) Converse piezoelectric effect

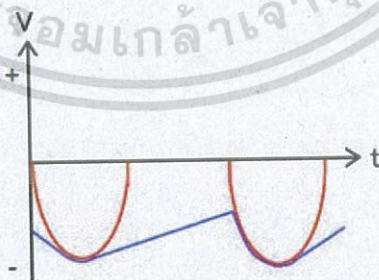
รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริก

2.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (full wave rectifier circuit)

เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นเกิดปัญหาสัญญาณไฟฟ้าขาออก (output) ไม่เรียบ หรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดรอยหยัก (ripple) ของสัญญาณไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.2 จึงมีการคิดค้นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นขึ้น เพื่อลดปัญหาของรอยหยักที่เกิดขึ้นจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น



(ก) สัญญาณขาออกของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก



(ข) สัญญาณขาออกของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ

รูปที่ 2.2 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น

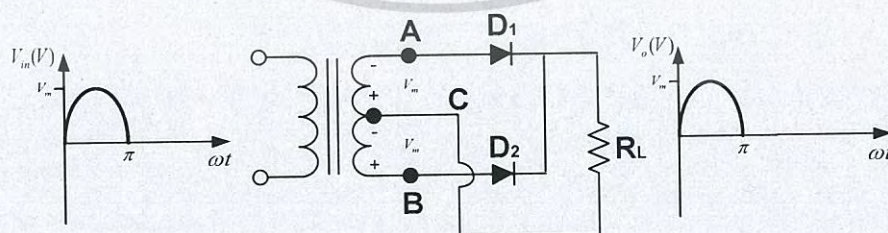
จากรูปที่ 2.2 ในการแก้ปัญหาหรรอยหัยกของสัญญาณขาออก จึงได้นำวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นมาใช้ โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นนั้นประกอบด้วยไดโอดอย่างน้อย 2 ตัวต่ออยู่ในวงจร เพื่อว่าจะทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสไฟฟ้าในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับความต้านโหลดตัวละครึ่งไซเคิล แต่ต้องจ่ายให้ทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้ตรงกว่าแบบครึ่งคลื่น [42]

2.2.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป (Center Tap Rectifier Circuit)

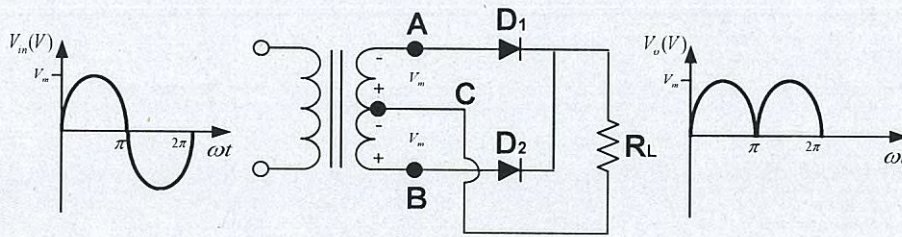
เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้ามาทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นทางขดทุติยภูมิ คือ ขั้ว A และ B เนื่องจากจุด C เป็นจุดกึ่งกลางของขดทุติยภูมิดังนั้นแรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งเกิดขึ้นที่ขั้ว AC และอีกครึ่งหนึ่งเกิดที่ขั้ว CB และแรงดันไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิมีเฟสตรงข้ามกัน คือ 180° เมื่อแรงดันไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลแรก คือครึ่งไฟบวกเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิ

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด B มีค่าบวก เมื่อเทียบกับ A หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C มีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด A ดังนั้นไดโอด D_1 ไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_2 นำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ตามรูปที่ 2.3 (ก)

เมื่อแรงดันไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลต่อมา คือครึ่งไฟลบเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิ ศักย์ไฟฟ้าจุด A มีค่าบวก เมื่อเทียบกับ B หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C มีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด B ดังนั้นไดโอด D_2 ไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_1 นำกระแสไฟฟ้าได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจรตามรูปที่ 2.3 (ข) ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะได้อีกครึ่งไซเคิลกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน R_L จะไหลไปในทิศทางเดียวกับตอนแรก



(ก) เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

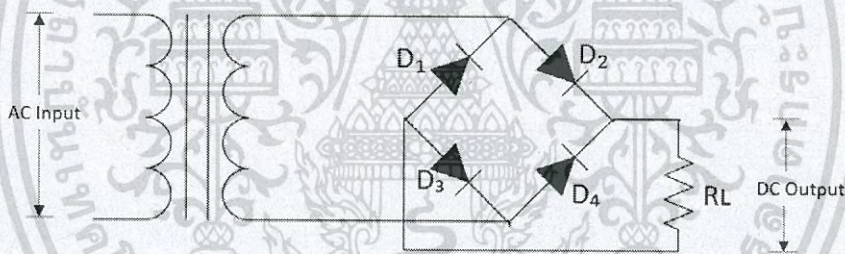


(ข) เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ

รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทป

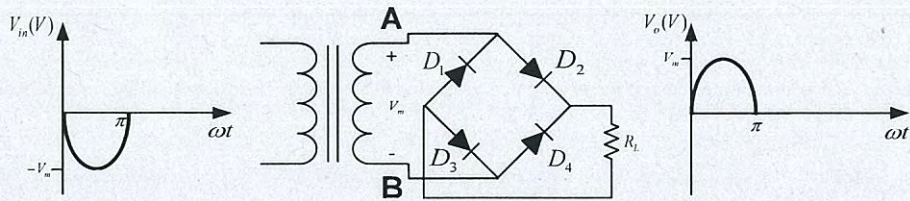
2.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะต่อเข้ากับสองมุมของวงจรบริดจ์และถูกนำออกที่สองมุมที่เหลือ ดังในรูปที่ 2.4

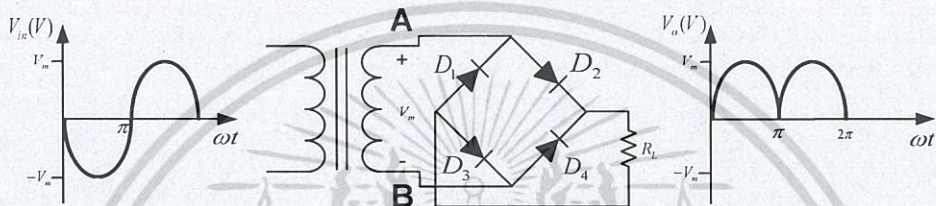


รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุต สมมติว่าเมื่อขั้ว A ของขดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวก และขั้ว B มีค่าเป็นลบ จึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลลบถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ไดโอด D₂ และ D₃ อยู่ในลักษณะไบอัสกระแสตรง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร จากขั้ว A ผ่านไดโอด D₂ ความต้านทานโหลดและไดโอด D₃ แล้วกลับเข้าสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง ดังรูปที่ 2.5 (ก) และเมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นบวกที่ขั้ว B และเป็นลบที่ขั้ว A การนำกระแสของไดโอดเปลี่ยนไปโดยเริ่มจากจุด B ของขดทุติยภูมิ ผ่านไดโอด D₄ ความต้านทานโหลด และไดโอด D₁ กลับเข้าขั้ว A ของหม้อแปลง ทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดมีทิศทางเดียวกับตอนแรก คือ มีขั้วบวกอยู่ทางด้านบน ดังรูปที่ 2.5 (ข) ดังนั้นการนำกระแสไดโอดเกิดสลับกันทีละสองตัว คือ D₂ กับ D₃ และ D₁ กับ D₄



(ก) เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ



(ข) เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

ในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะได้สัญญาณเอาต์พุตเพียงครึ่งไซเคิล แต่ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นได้สัญญาณเอาต์พุตทุกรูปคลื่นของสัญญาณอินพุต ดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าหรือค่ากระแสไฟฟ้าย่อมได้มากกว่าแบบครึ่งคลื่น ซึ่งการคำนวณหาค่าโดยใช้สมการเดียวกัน แต่จะให้ผลลัพธ์ดังนี้ [43]

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} = 0.636I_m \tag{2.5}$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636V_m \tag{2.6}$$

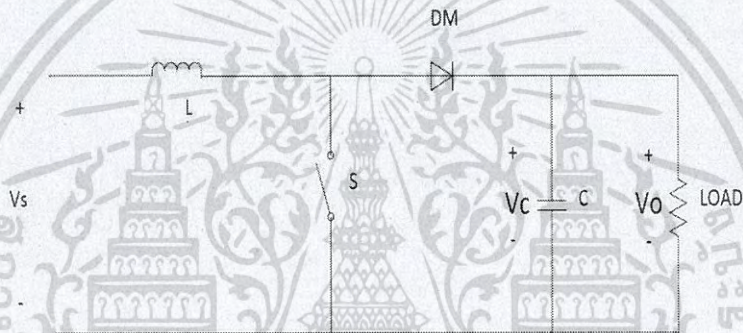
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \tag{2.7}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \tag{2.8}$$

2.3 ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (DC-DC CONVERTERS)

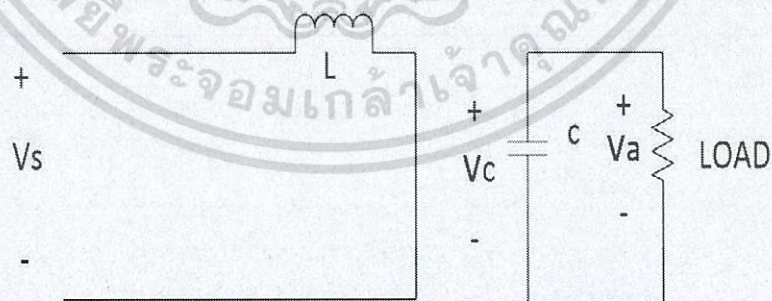
2.3.1 วงจรท่ระดับแรงดันหรือวงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

วงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เป็นวงจที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input) ที่ป้อนเข้ามาในวงจหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรถะดับ (Step-up Converter) วงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์จะใช้มอสเฟตกำลัง (MOSFET) หรือ ไอจีบีที (IGBT) ดังรูปที่ 2.6 ทำหน้าที่แทนสวิตช์ โดยจังหวะหรือความถี่ในการสวิตช์จะถูควบคุมจากวงจรับอีกทีหนึ่ง

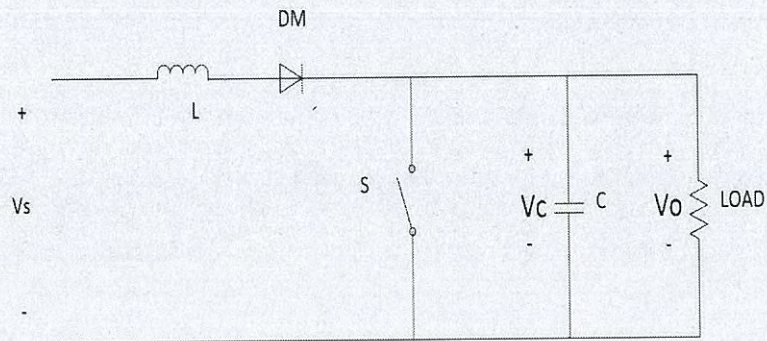


รูปที่ 2.6 วงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

จากรูปที่ 2.6 สามารถพิจารณาการทำงานของมุสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ในแต่ละโหมดการทำงานตามการปิด-เปิดของสวิตช์ได้ดังนี้



(ก) วงจรสวิตช์ที่สภาวะปิด (ON)



(ข) วงจรสวิตช์ที่สภาวะเปิด (OFF)

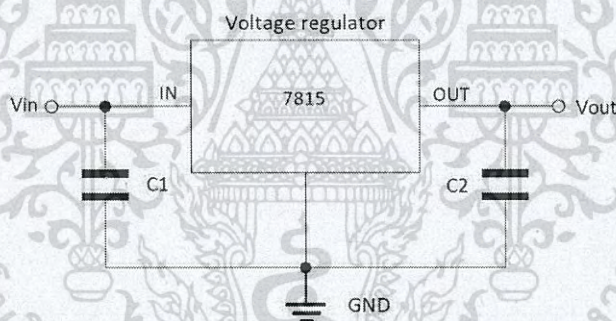
รูปที่ 2.7 แสดงโหมดการทำงานวงจรของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ตามการปิด-เปิดของสวิตช์

จากการทำงานในโหมดนี้ของวงจรของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เห็นได้ว่าเมื่อสวิตช์ปิด (Switch On) พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) จ่ายให้ไปสะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ในระยะเวลาหนึ่งในช่วงเวลาที่สวิตช์ปิด (Switch On) อยู่โดยแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย (V_s) ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟ [44]

2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuit)

ไอซีตระกูล 78XX และ 79XX เป็นอุปกรณ์รักษาแรงดันแบบคงที่ โดยตระกูล 78XX ให้แรงดันแบบบวกคงที่ และตระกูล 79XX ให้แรงดันแบบลบคงที่ มีค่าตามหลัง XX แสดงขนาดแรงดันที่กำหนดไว้บนไอซี เช่น 7815 ให้แรงดันไฟบวกคงที่ขนาด 15 V ดังแสดงในรูปที่ 2.8

โดยไอซี 7815 ขา IN จะต่อกับแรงดันไฟบวกส่วนขา GND จะต่อกับไฟลบ มี C_1 เพื่อลดค่าความเหนี่ยวนำภายในไอซี ซึ่งมักใช้ค่าเท่ากับ $1\mu\text{F}$ ชนิดแทนทาลัม หรือ $0.1\mu\text{F}$ ชนิดเซรามิก และ C_2 มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งมักใช้ค่าเท่ากับ C_1 การป้อนแรงดันไฟที่ขา IN และขา OUT จะต้องมีความต่างกันพอสมควรโดยดูจากค่า $V_{in} - V_{out}$ ใน Data Sheet ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2V ฉะนั้นแรงดันที่ขา IN ต้องป้อนมากกว่า 17 V แต่น้อยกว่าค่า $V_{in(max)}$ ซึ่งเท่ากับ 35V [45]



รูปที่ 2.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC7815

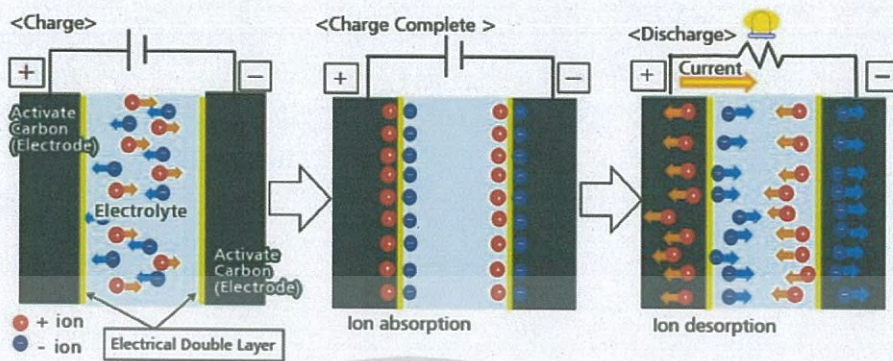
2.5 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตัวเก็บประจุยิ่งยวด อุปกรณ์ชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษตรงที่มีค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) สูงกว่าตัวเก็บประจุอื่น ๆ มากถึง 100-10,000 เท่า อีกทั้งยังสามารถอัดประจุให้เต็มได้ภายในเวลาอันรวดเร็วเพียง 1-10 วินาที เทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนซึ่งต้องใช้เวลาโดยเฉลี่ย 10-60 นาที และการคายประจุสามารถทำได้ภายในเวลา 1 วินาทีเช่นกัน จุดเด่นอีกประการของตัวเก็บประจุยิ่งยวดคือ สามารถอัดและคายประจุได้กว่า 500,000 รอบ มากกว่าความสามารถของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถึง 100 เท่า และมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) 1,000-10,000 เท่า นอกจากนี้ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีราคาต่อกิโลวัตต์ที่ต่ำ (US\$25-50/kW) เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (US\$75-150/kW) และยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แรงกระแทก และการสั่นสะเทือนได้ดีอีกด้วย

ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีส่วนประกอบหลัก คือ

1. ขั้วบวกและลบ มักทำด้วยคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนจำนวนมาก เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)
2. แผ่นกั้นระหว่างขั้ว (separator) ซึ่งไอออนสามารถผ่านได้เช่นเดียวกับแบตเตอรี่
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งมักจะเป็นอะซิโตนไทรล์ (acetonitrile) หรือ โพลีคาร์บอเนต (polycarbonate)

เมื่อให้ความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสองข้าง เช่น เมื่อต่อตัวเก็บประจุยิ่งยวดเข้ากับแบตเตอรี่ ประจุที่เป็นบวกภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ถูกดึงดูดเข้าหาขั้วลบของตัวเก็บประจุยิ่งยวดและประจุที่เป็นลบในสารละลายเข้าไปหาขั้วบวก การที่ใช้คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการกักเก็บประจุเนื่องจากประจุของสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนได้ จึงมีจุดที่มีการดึงดูดกันระหว่างประจุบวกและลบเพิ่มขึ้น ตัวเก็บประจุยิ่งยวดจึงเสมือนกับการนำตัวเก็บประจุแบบธรรมดา (capacitor) ขนาดเล็ก ๆ มารวมด้วยกันจำนวนมาก ดังรูปที่ 2.9 แสดงการกระจายตัวของประจุภายในตัวเก็บประจุยิ่งยวดขณะอัดประจุ เมื่ออัดประจุจนเต็มแล้ว และขณะคายประจุ [46]



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการกระจายตัวของประจุขณะกำลังอัดประจุ (ซ้าย)

เมื่ออัดประจุจนเต็ม (กลาง) ละเมื่อคายประจุ (ขวา)

2.6 แบตเตอรี่ (Battery)

โดยทั่วไป แบตเตอรี่แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ด้วยกัน [47] ได้แก่

1. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จจนเต็มมาจากโรงงาน เช่น แบตเตอรี่นาฬิกา (ถ่านนาฬิกา), แบตเตอรี่ไฟฉาย (ถ่านไฟฉาย) เป็นต้น ซึ่งเมื่อใช้ไฟฟ้าในแบตเตอรี่จนหมด ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Battery)
2. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จใหม่ได้เมื่อแบตเตอรี่มีไฟฟ้าที่อ่อนลง เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ เรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Battery)

โดย แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Battery) ที่นำมาใช้คือ แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Li-ion) เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้อย่างกว้างขวางที่สุดแบบหนึ่ง แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางทั้งในเครื่องโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แบบโน้ตบุ๊ก เป็นต้น

- ข้อดี**
1. มีความสามารถในการเก็บประจุต่อน้ำหนักที่มากที่สุด (มากกว่า NiMH ถึงสองเท่า และมากกว่า NiCd ถึงสามเท่า) จึงสามารถสร้างแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาได้

2. เป็นแบตเตอรี่ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแบบอื่น (3.6V ในขณะที่ NiCd และ NiMH สร้างศักย์ได้ 1.2V และแบตเตอรี่แบบสังกะสี-ถ่านสร้างได้ 1.5V)
3. เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา ไม่มีเมมโมรีเอฟเฟ็คท์ มีอัตราการเสียประจุไฟฟ้าด้วยตัวเองต่ำ (ต่ำกว่า NiCd กว่าครึ่งหนึ่ง)

- ข้อเสีย
1. ต้องการการป้องกันในขณะที่กำลังประจุไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความทนทานในการใช้งานและปลอดภัย คือป้องกันไม่ให้ประจุด้วยศักย์และกระแสที่สูงเกินไป
 2. ต้องการการป้องกันการจ่ายกระแสเกิน (กว่า 1-2 C-rate ของตัวมัน) ซึ่งหากแบตเตอรี่มีการป้องกันที่พร้อมมูลเช่นนี้ สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย
- [48]



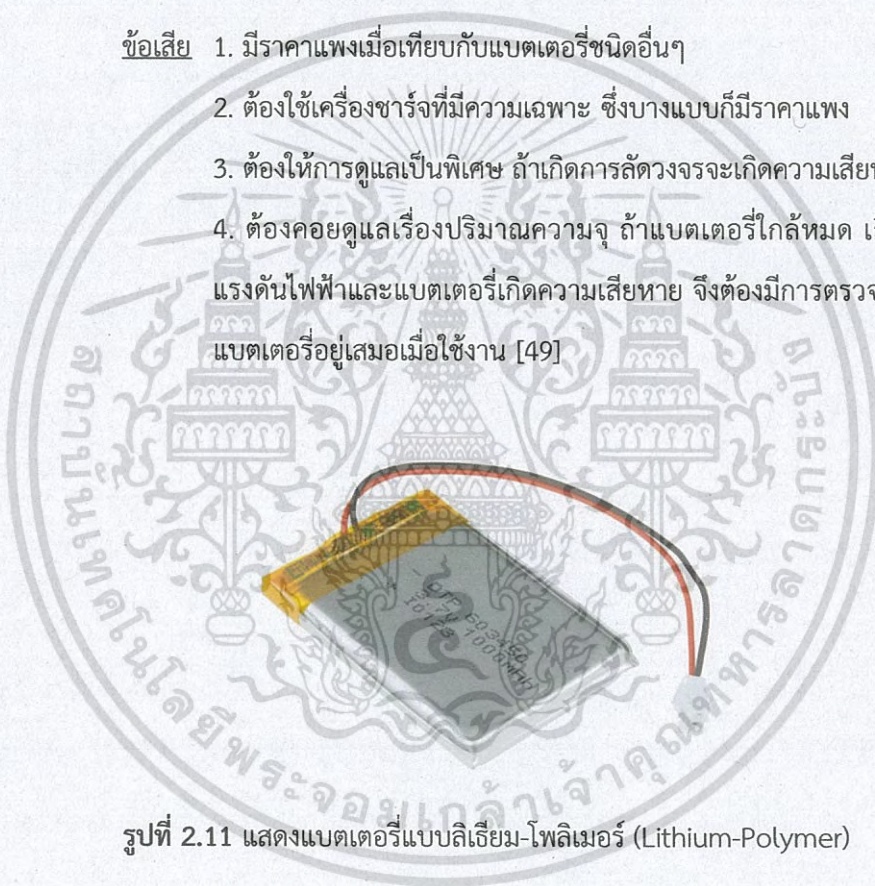
รูปที่ 2.10 แสดงแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Li-ion)

แบตเตอรี่แบบลิเทียม-โพลีเมอร์ (Lithium-Polymer) ได้ถูกพัฒนาขึ้น การออกแบบครั้งแรกได้รวม อิเล็กโทรไลต์-โพลีเมอร์ ในรูปแบบ แข็ง และ แห้ง คล้ายกับฟิล์มพลาสติก ทำให้ผลออกมาคือ รูปร่างจะคล้าย ๆ กับบัตรเครดิต (มีลักษณะบาง) ในขณะที่ยังคงมีความสามารถในการคงอายุการใช้งานที่ดี นอกจากนี้ แบตเตอรี่ประเภทนี้ ยังมีความเบา และถูกปรับปรุงให้มีความปลอดภัยสูงยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน และมีความหนาแน่นของแบตเตอรี่น้อยกว่าแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อดี**
1. มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับความจุ (mAh)
 2. สามารถจ่ายกระแสได้ปริมาณมากกว่าความจุ
 3. แรงดันคงที่
 4. มีหลายรูปแบบขนาด ทำให้ยึดติดตั้งได้ง่าย
 5. คายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge) น้อย

- ข้อเสีย**
1. มีราคาแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ
 2. ต้องใช้เครื่องชาร์จที่มีความเฉพาะ ซึ่งบางแบบก็มีราคาแพง
 3. ต้องให้การดูแลเป็นพิเศษ ถ้าเกิดการลัดวงจรจะเกิดความเสียหาย
 4. ต้องคอยดูแลเรื่องปริมาณความจุ ถ้าแบตเตอรี่ใกล้หมด เกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าและแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย จึงต้องมีการตรวจวัดความจุของแบตเตอรี่อยู่เสมอเมื่อใช้งาน [49]

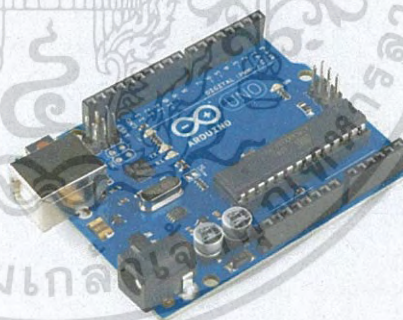


รูปที่ 2.11 แสดงแบตเตอรี่แบบลิเทียม-โพลิเมอร์ (Lithium-Polymer)

2.7 อาดูยโน้ (Arduino)

อาดูยโน้ (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) โดยถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware) คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ดอาดูยโน้ (Arduino) ซึ่งมีหลายรุ่นให้เลือกใช้โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ ประสิทธิภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นต้น
2. ซอฟต์แวร์ (Software) คือ จะใช้ภาษาที่มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ ซึ่งเป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)



รูปที่ 2.12 อาดูยโน้ (Arduino) [50]

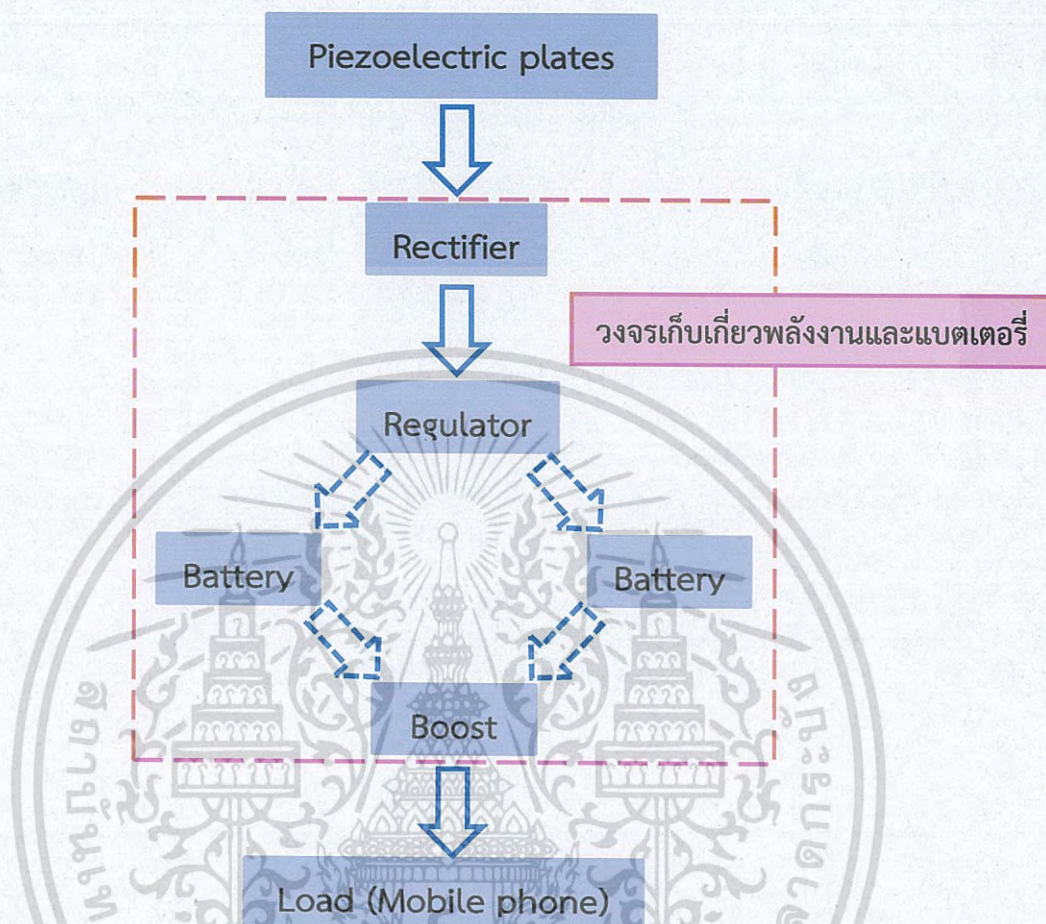
บทที่ 3

การออกแบบและจำลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบของจักรยานออกกำลังกาย โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และเก็บอยู่ในรูปของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) แผนภาพวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

รูปที่ 3.1 แบบจำลองจักรยานออกกำลังกาย

ในรูปที่ 3.1 (ก) เป็นแบบจำลองจักรยานออกกำลังกายทั้งหมดโดยโปรแกรม SketchUP โดยมีที่วางโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต วงจรและแบตเตอรี่อยู่บริเวณด้านหน้ารถจักรยาน มีอุปกรณ์วัดความเร็วติดตั้งบริเวณแกนหลักใกล้กับล้อหลังของจักรยาน ในส่วนของบริเวณล้อหลังนั้น ได้นำยางของล้อหลังออก ติดแม่เหล็กบนโครงล้อ และปลายของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนโครงไม้บริเวณล้อหลังของจักรยาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข) และ (ค) ซึ่งรูปที่ 3.1 (ข) เป็นแบบจำลองส่วนขยายบริเวณล้อหลังจากโปรแกรม SketchUP และรูปที่ 3.1 (ค) เป็นชิ้นงานจริงส่วนขยายบริเวณล้อหลัง

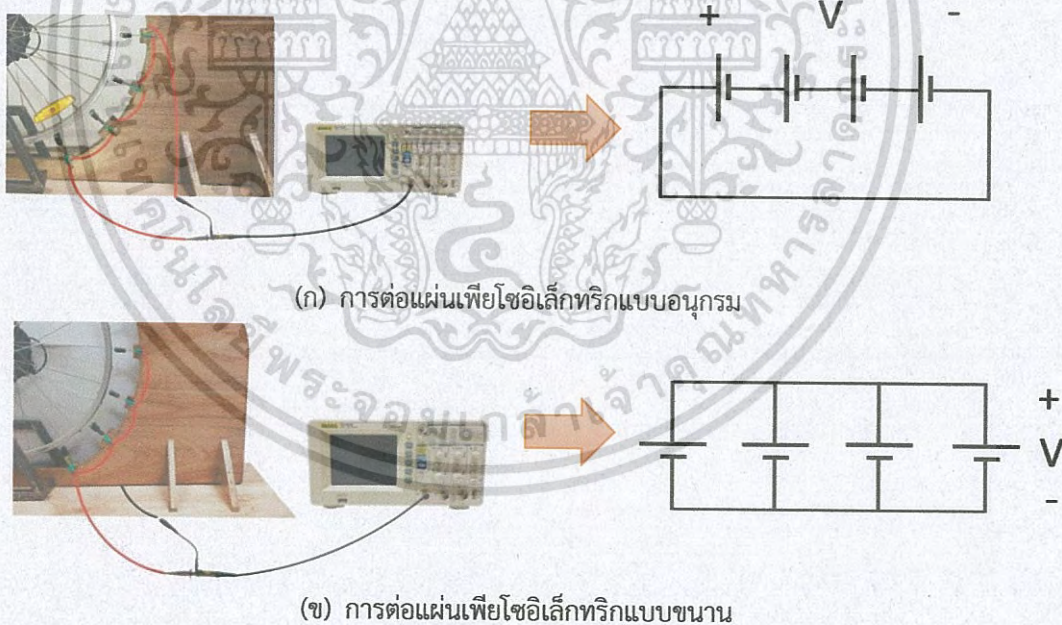
จากแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ง) เป็นแผนภาพวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเชื่อมต่อกับวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อลดแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม (Ripple voltage) ให้กับแรงดันไฟฟ้าด้านออก แล้วนำไปเชื่อมต่อกับวงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) เพื่อลดและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ และเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ โดยออกแบบให้มีแบตเตอรี่จำนวนสองเซลล์ ทำหน้าที่เก็บพลังงานและจ่ายไหลตลกลับกัน จากนั้นผ่านวงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter) เพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ

3.1 การจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

เป็นการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ตั้งแต่จำนวน 1 ถึง 4 แผ่น ที่ความเร็ว 75 และ 120 รอบต่ออนาที โดยทำการต่อแบบอนุกรมและขนาน เพื่อเลือกลักษณะการต่อที่ให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 3.2 การจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

3.1.1 ผลการจำลองที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที

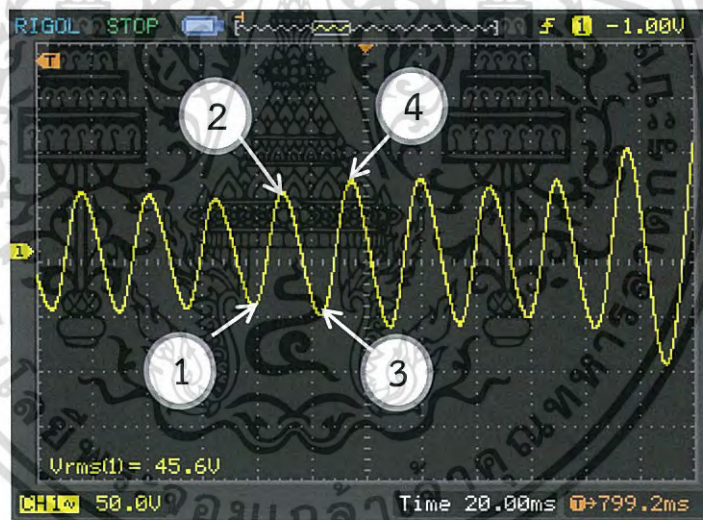
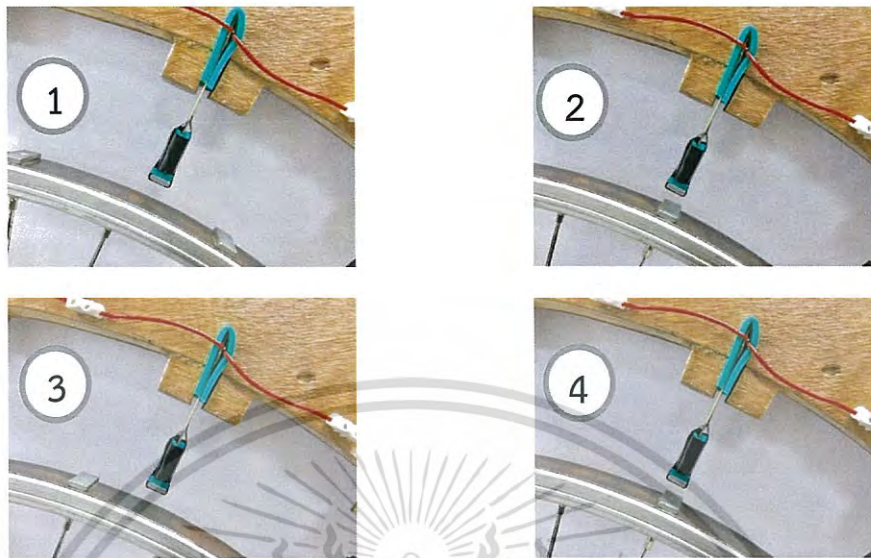
3.1.1.1 ผลการจำลองที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น

จากการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที โดยใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 1 แผ่น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 3.3 เห็นได้ว่าช่วงที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในแต่ละความเร็ว เป็นผลมาจากแรงผลักดันของแผ่นแม่เหล็ก และแรงดันไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลง จนกว่าแผ่นแม่เหล็กตำแหน่งถัดไปเคลื่อนที่มาผลักดันอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำให้โดยรวมค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง มีลักษณะคล้ายรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของแผ่นแม่เหล็ก

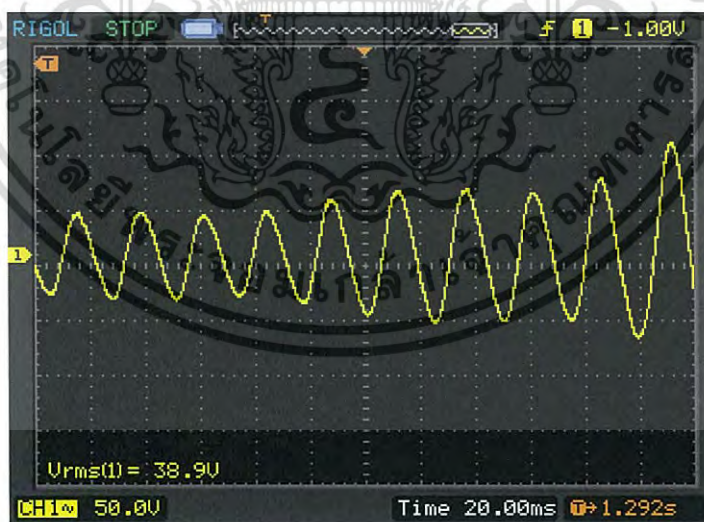
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 ผลการจำลองที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบอนุกรม

จากรูปที่ 3.5 เป็นการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบอนุกรม

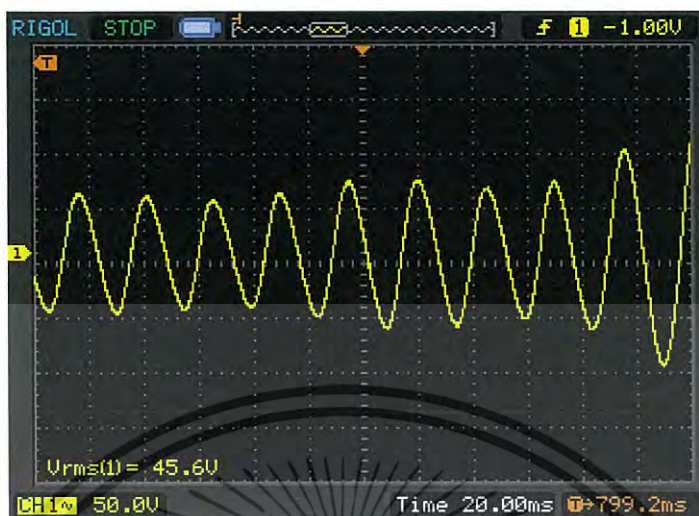


(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน

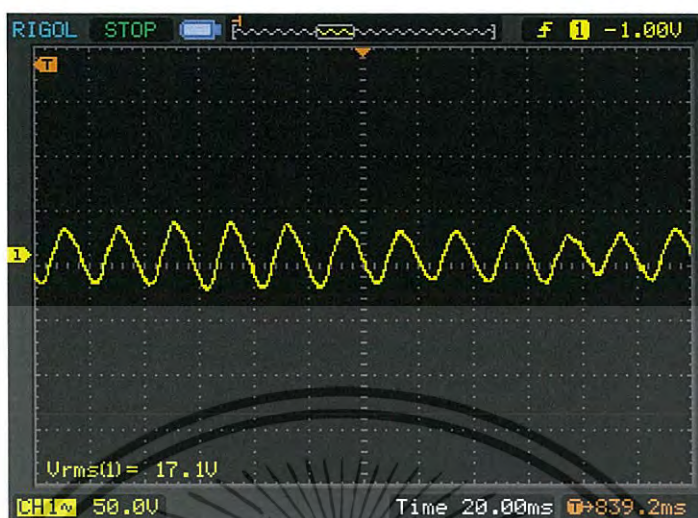
รูปที่ 3.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 3.5 เห็นได้ว่าค่าของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 3.3 แตกต่างกันที่ค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาต่ออนุกรมกันในจำนวนที่มากขึ้น ทำให้เกิดการเสริมกันของแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่แม่เหล็กผลึกกัน แต่ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน สามารถสรุปได้ว่า การนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาต่ออนุกรมกัน ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แต่กระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.1.1.3 ผลการจำลองที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบขนาน

จากรูปที่ 3.6 เห็นได้ว่าค่าของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 3.4 แตกต่างกันที่ค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แต่แรงดันไฟฟ้าจากการต่อขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งสามรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่ามีการเพิ่มจำนวนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อกันแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

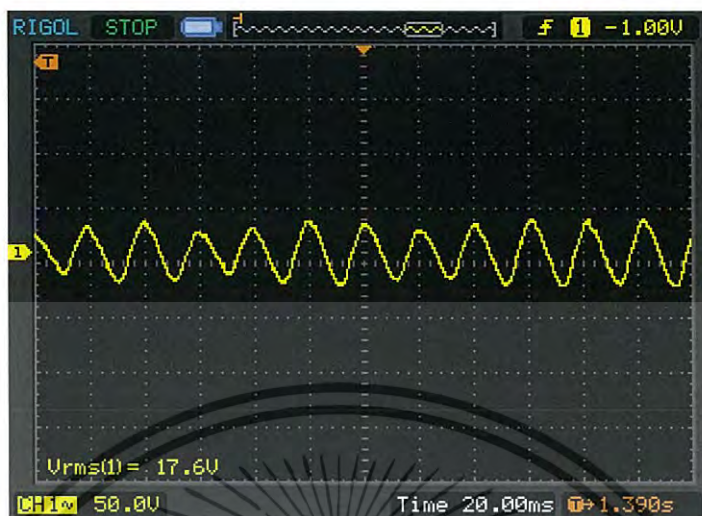


(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



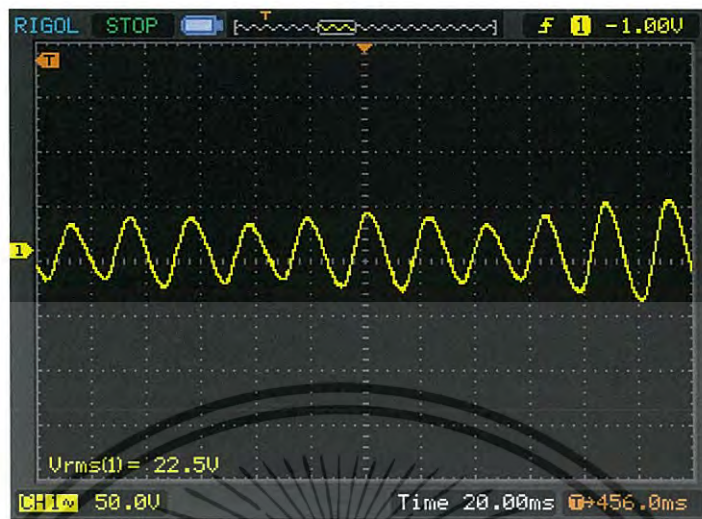
(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน

รูปที่ 3.6 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ที่ความเร็วรอบ 75 รอบต่อนาที

3.1.2 ผลการจำลองที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที

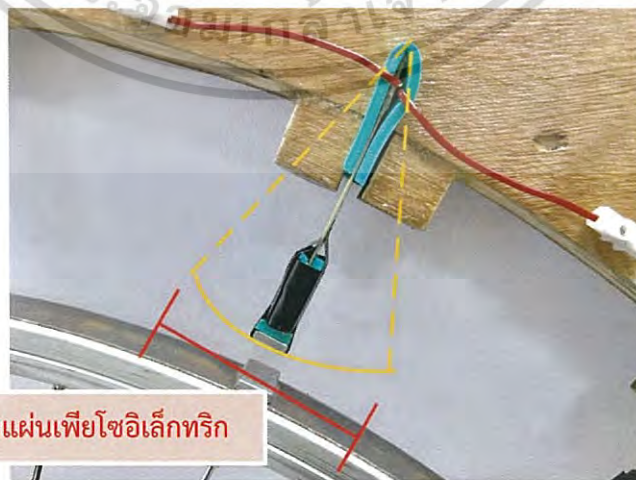
3.1.2.1 ผลการจำลองที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น

จากรูปที่ 3.7 เป็นการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 1 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

ในรูปที่ 3.7 มีลักษณะเช่นเดียวกับที่กล่าวมาในรูปที่ 3.3 แต่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า และเมื่อทำการวัดระยะการสั่นของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 3.8 พบว่าการปั่นจักรยานที่ 75 รอบต่อนาที แผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นเท่ากับ 13 มิลลิเมตร ในขณะที่การปั่นจักรยานที่ 120 รอบต่อนาที แผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นมากขึ้นเป็น 18 มิลลิเมตร ซึ่งจากคุณสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก หากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นมาก จะได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย

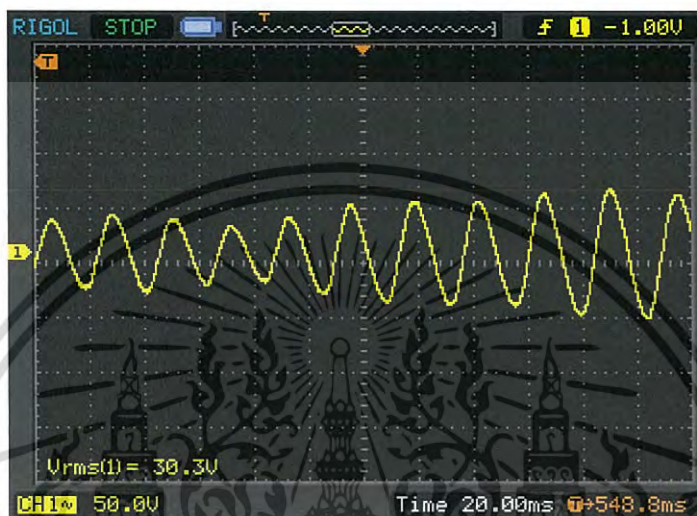


รูปที่ 3.8 ระยะการสั่นของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

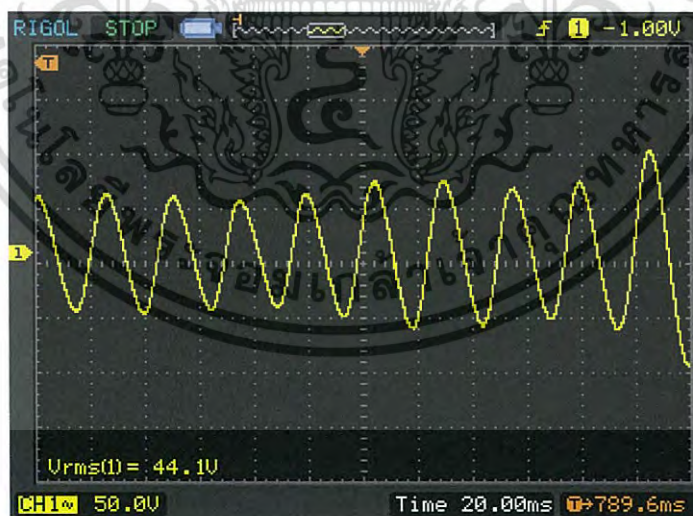
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ผลการจำลองที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบอนุกรม

ทำการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบอนุกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.9

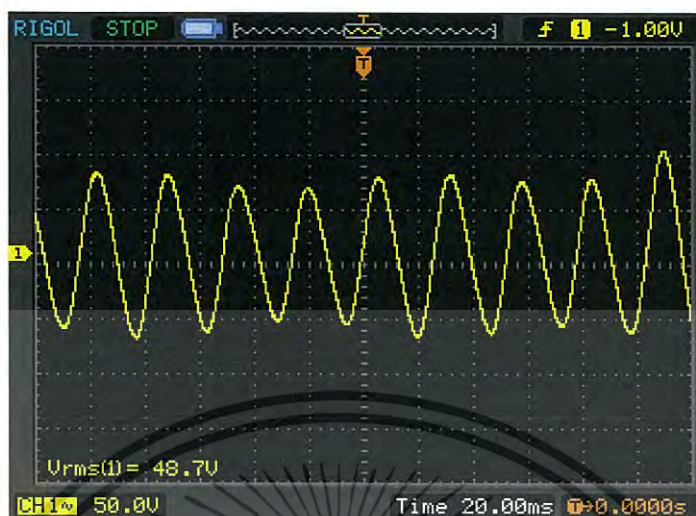


(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



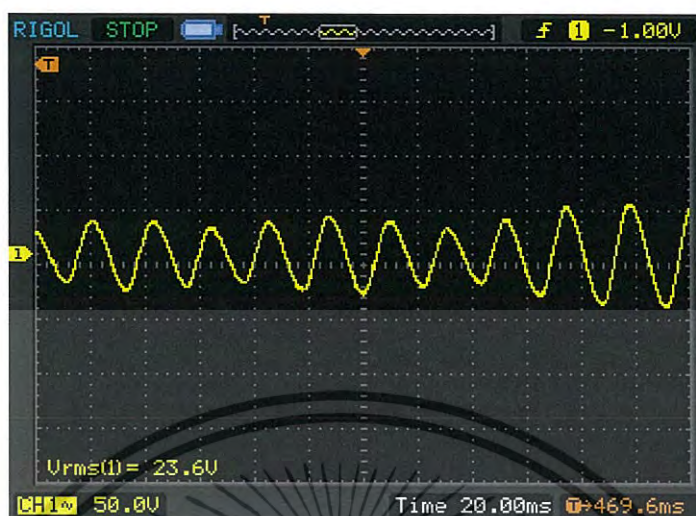
(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน

รูปที่ 3.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

การนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาต่ออนุกรมกัน ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แต่กระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในรูปที่ 3.9 เป็นการต่ออนุกรมแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเช่นเดียวกับรูปที่ 3.5 แต่มีการเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นจักรยาน ทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับที่กล่าวในรูปที่ 3.7

3.1.2.3 ผลการจำลองที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดยการต่อแบบขนาน

ในรูปที่ 3.10 เป็นการต่อขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเช่นเดียวกับรูปที่ 3.6 แต่มีการเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นจักรยาน ทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับที่กล่าวในรูปที่ 3.7 เนื่องจากการต่อแบบขนานทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน แม้มีการเพิ่มจำนวนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แต่ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น แปรผันตามจำนวนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

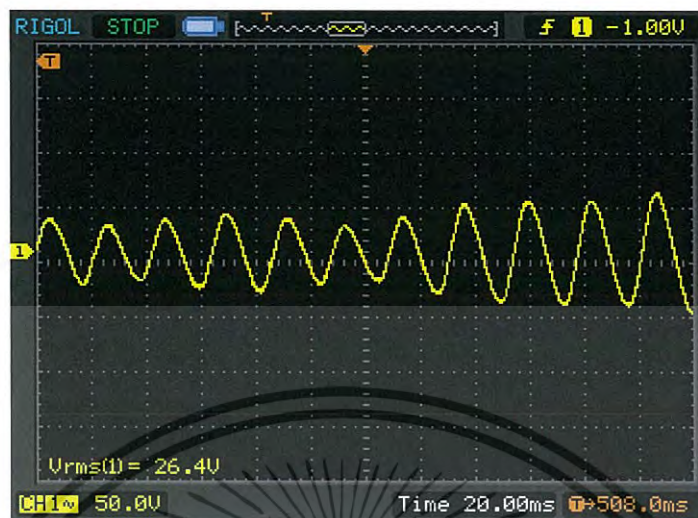


(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน

รูปที่ 3.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

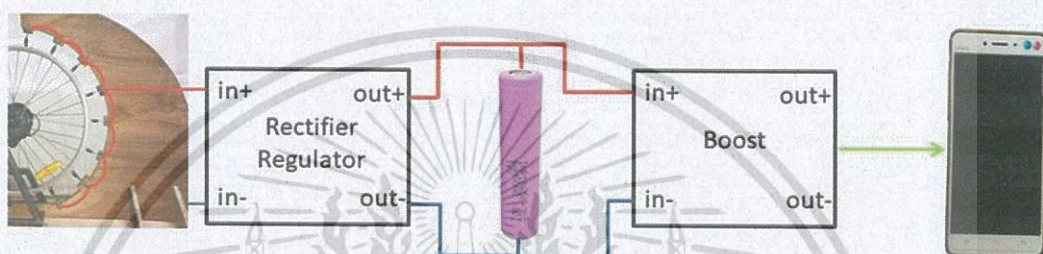
ตารางที่ 3.1 สรุปผลการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

ลักษณะการต่อ	ความเร็ว 75 รอบต่อนาที			ความเร็ว 120 รอบต่อนาที		
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น	14.4	0.09×10^{-3}	1.29×10^{-3}	22.5	0.10×10^{-3}	2.24×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน	24.1	0.10×10^{-3}	2.40×10^{-3}	30.3	0.11×10^{-3}	3.40×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน	38.9	0.12×10^{-3}	4.79×10^{-3}	44.1	0.14×10^{-3}	6.2×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน	45.6	0.13×10^{-3}	5.92×10^{-3}	48.7	0.15×10^{-3}	7.23×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน	17.1	0.19×10^{-3}	3.25×10^{-3}	23.6	0.23×10^{-3}	5.47×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน	17.3	0.28×10^{-3}	4.84×10^{-3}	24.2	0.33×10^{-3}	8.05×10^{-3}
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน	17.6	0.37×10^{-3}	6.51×10^{-3}	26.4	0.42×10^{-3}	11.2×10^{-3}

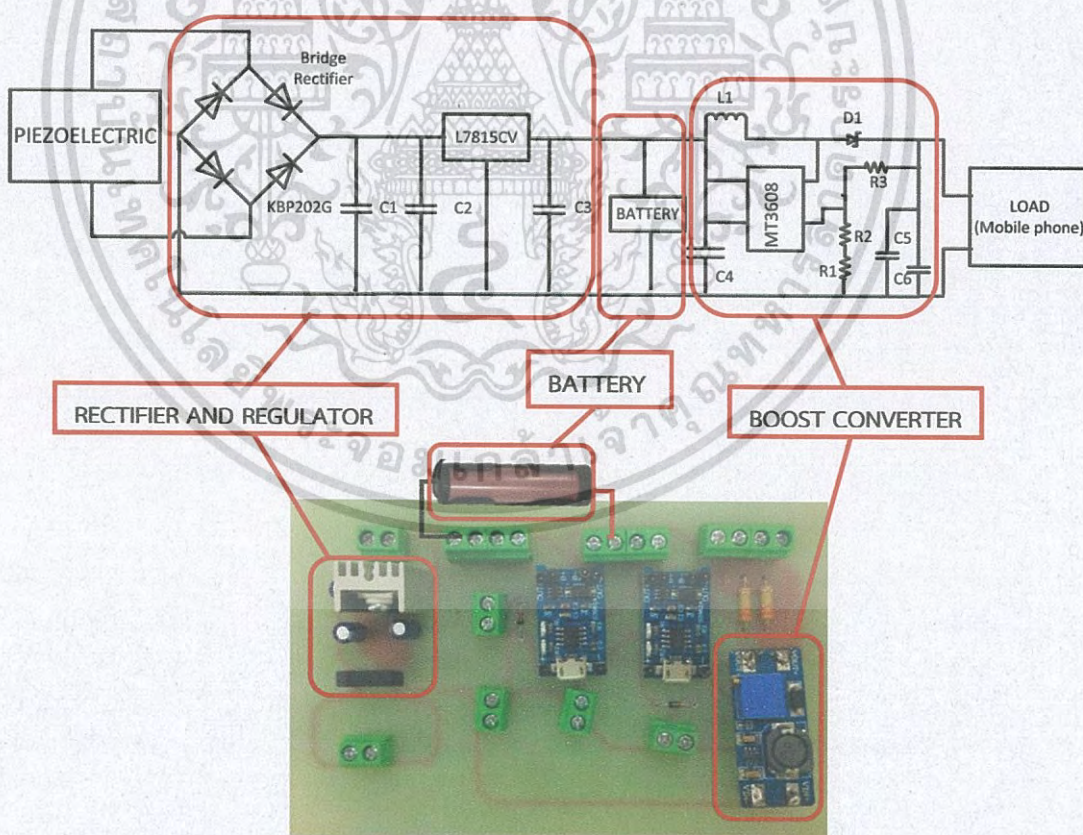
จากตารางที่ 3.1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการกำลังไฟฟ้า ซึ่งกำลังไฟฟ้ามักค่าเท่ากับผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า โดยมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า พบว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ได้ค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นมากกว่า และที่ความเร็วเดียวกัน การต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ได้ค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่าการต่อแบบอนุกรม เป็นผลมาจากคุณสมบัติของการขนานแหล่งจ่ายทางไฟฟ้า จะให้แรงดันไฟฟ้าที่คงที่ และกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้การต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการเก็บลงแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ

3.2 การออกแบบวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

จากการออกแบบวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator) แบตเตอรี่ (Battery) และวงจรทบระดับแรงดัน (Boost converter) เพื่อเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก) แผนภาพแสดงระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก



(ข) วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

รูปที่ 3.11 การออกแบบวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

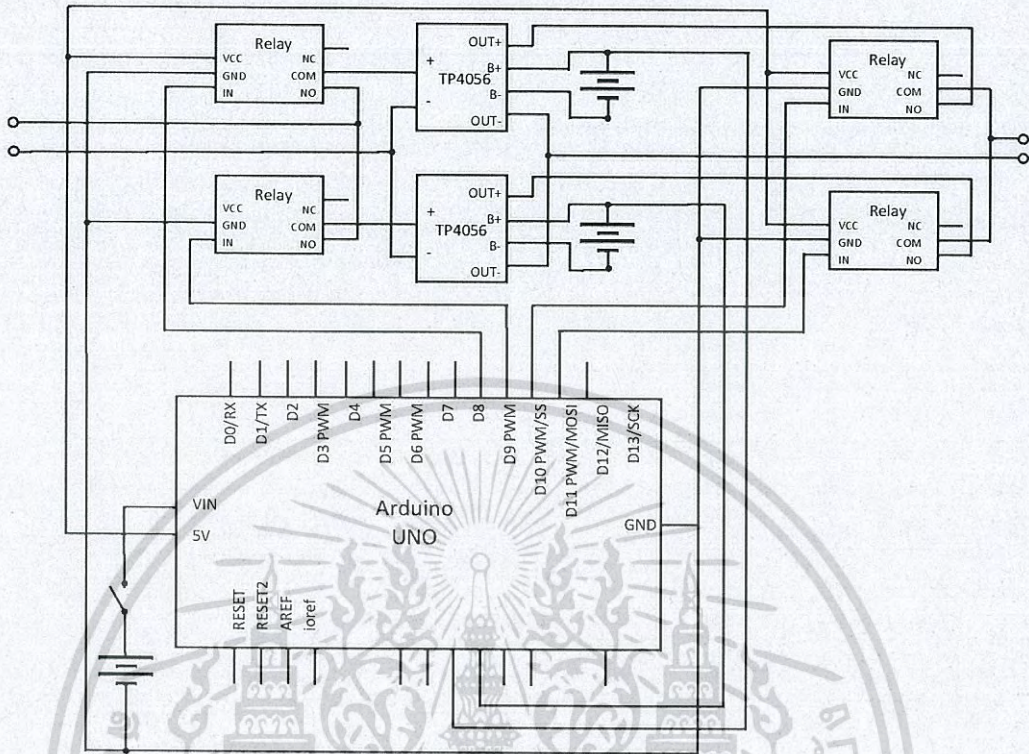
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบวงจรเรียงกระแส กำหนดให้ แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเป็น 30 V จึงเลือกใช้ KBP202G และตัวเก็บประจุ C1 ขนาด 0.1 μ F เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรเรียงกระแสมีค่าประมาณ 35 V จึงเลือกใช้ L7815CV ที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าสูงสุด 35 V และแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าเท่ากับ 15 V เพื่อจ่ายให้กับแบตเตอรี่ โดยเลือกใช้ตัวเก็บประจุ C2 ขนาด 0.1 μ F และ C3 ขนาด 1 μ F และเลือกแบตเตอรี่แบบลิเทียม-ไอออน (Lithium-Ion) จำนวน 2 เซลล์ ขนาด 3.7 V ความจุ 2850 mAh

โดยออกแบบให้มีแบตเตอรี่จำนวนสองเซลล์ A และ B ทำหน้าที่เก็บพลังงานและจ่ายโหลดสลับกัน ควบคุมโดยอาดูยโน้ (Arduino) เนื่องจากไม่ควรชาร์จแบตเตอรี่พร้อมกับจ่ายโหลดในเวลาเดียวกัน เพราะจะเกิดการแบ่งกระแสไฟฟ้าที่ส่งเข้ามา ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ส่งผลทำให้เกิดความร้อน และแบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น ฉะนั้นจึงหลีกเลี่ยงการจ่ายโหลดขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุของแบตเตอรี่ให้นานมากขึ้น

โดยแบ่งโหมดการควบคุมเป็น 4 กรณี ดังนี้

1. หากแบตเตอรี่ A มีค่าความจุพลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 % และแบตเตอรี่ B มีความจุพลังงานมากกว่า 50 % อาดูยโน้จะสั่งให้แบตเตอรี่ A ทำหน้าที่เก็บพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก และแบตเตอรี่ B ทำหน้าที่จ่ายโหลดให้กับโทรศัพท์มือถือ
2. หากแบตเตอรี่ A มีค่าความจุพลังงานมากกว่า 50 % และแบตเตอรี่ B มีค่าความจุพลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 % อาดูยโน้จะสั่งให้แบตเตอรี่ A ทำหน้าที่จ่ายโหลดให้กับโทรศัพท์มือถือ และแบตเตอรี่ B ทำหน้าที่เก็บพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก
3. หากแบตเตอรี่ A และ B มีค่าความจุพลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 % อาดูยโน้จะสั่งให้แบตเตอรี่ A ทำหน้าที่เก็บพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกเพียงเซลล์เดียว
4. หากแบตเตอรี่ A และ B มีค่าความจุพลังงานมากกว่า 50 % อาดูยโน้จะสั่งให้แบตเตอรี่ A ทำหน้าที่จ่ายโหลดเพียงเซลล์เดียว

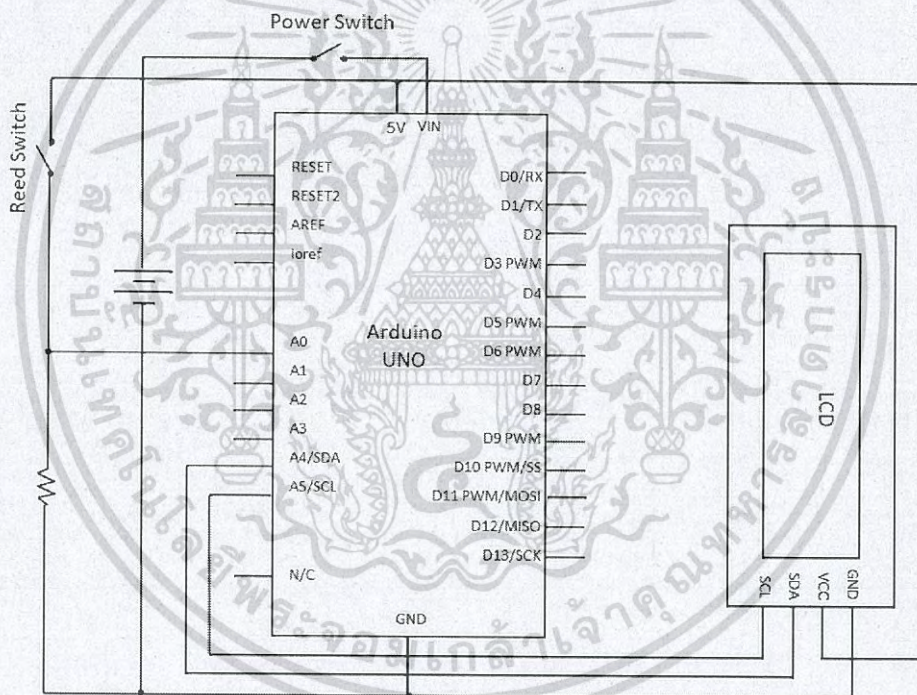


รูปที่ 3.12 วงจรการควบคุมการเก็บพลังงานและจ่ายโหลดของแบตเตอรี่

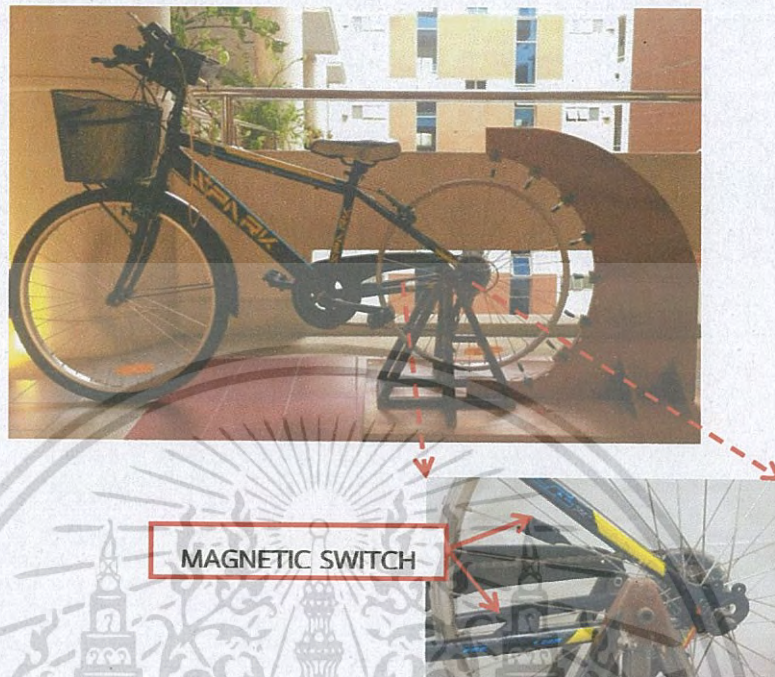
เนื่องจากแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 3.7 V จึงเลือกใช้วงจร
 ทบระดับแรงดัน MT3608 ที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอยู่ในช่วง 2.0-24 V และแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่
 ในช่วง 5.0-28 V เพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน 3.7 V ให้มีขนาด 5 V

3.3 การออกแบบอุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน

จากแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ก) เป็นการนำอาδυโน (Arduino) มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์วัดความเร็ว โดยใช้สวิทซ์แม่เหล็กเป็นตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งสวิทซ์แม่เหล็กประกอบด้วยแม่เหล็ก 2 ชั้น ทำการติดตั้งบริเวณแกนเหล็กใกล้กับล้อหลังของจักรยาน และซี่ของล้อหลังของรถจักรยาน ดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ข) เมื่อปั่นจักรยาน แม่เหล็กที่ติดบริเวณซี่ล้อจะเคลื่อนที่ผ่านแม่เหล็กอีกชั้นที่ติดตั้งบริเวณแกนเหล็ก อาδυโนจะประมวลผล และแสดงค่าความเร็วในหน่วยรอบต่อนาทีบนจอแอลซีดี



(ก) วงจรอุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน



(ข) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน

รูปที่ 3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วของจักรยาน

ผลการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าจากการปั่นจักรยานที่ 3 ความเร็ว ได้แก่ 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที ซึ่งตำแหน่งจุดวัดแรงดันไฟฟ้ามีดังนี้

จุดที่ 1 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น

จุดที่ 2 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน

จุดที่ 3 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่

จุดที่ 4 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรทบระดับแรงดัน

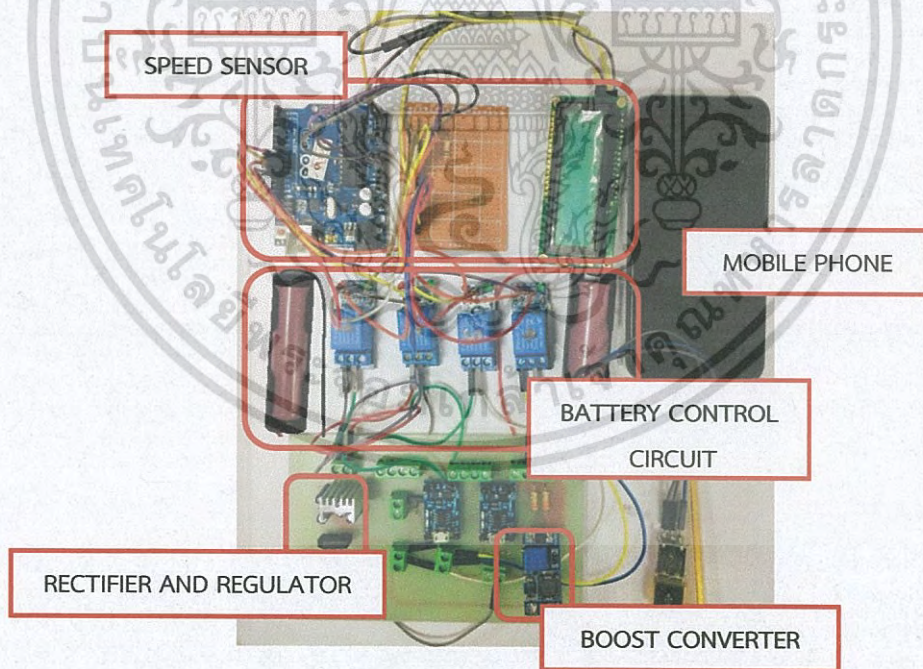
โดยกำหนดระยะห่างของแม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อจักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ได้แก่ 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การเก็บพลังงานลงในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จแบตเตอรี่

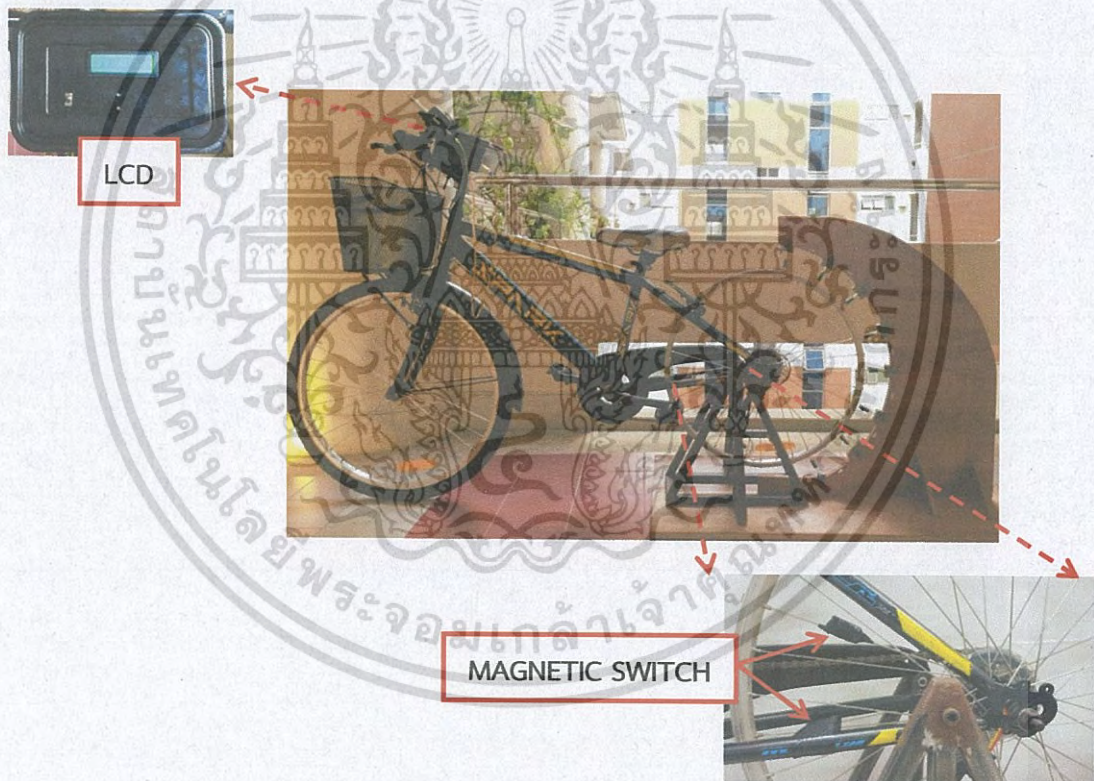
ในปฏิญานิพนธ์นี้ ทำการออกแบบการนำพลังงานที่สูญเสียโดยเปล่าประโยชน์จากการออกกำลังภายในรูปแบบของการปั่นจักรยาน โดยทำการติดแม่เหล็กบนโครงล้อและที่ปลายของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก เพื่อใช้แรงผลึกจากแม่เหล็กมาเป็นแรงทางกล กระทำกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกขณะปั่นจักรยาน พลังงานที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจะถูกเก็บลงแบตเตอรี่ผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ



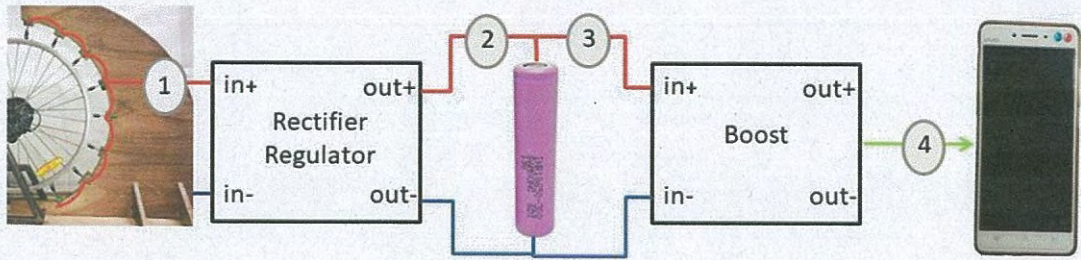
รูปที่ 4.1 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และควบคุมแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

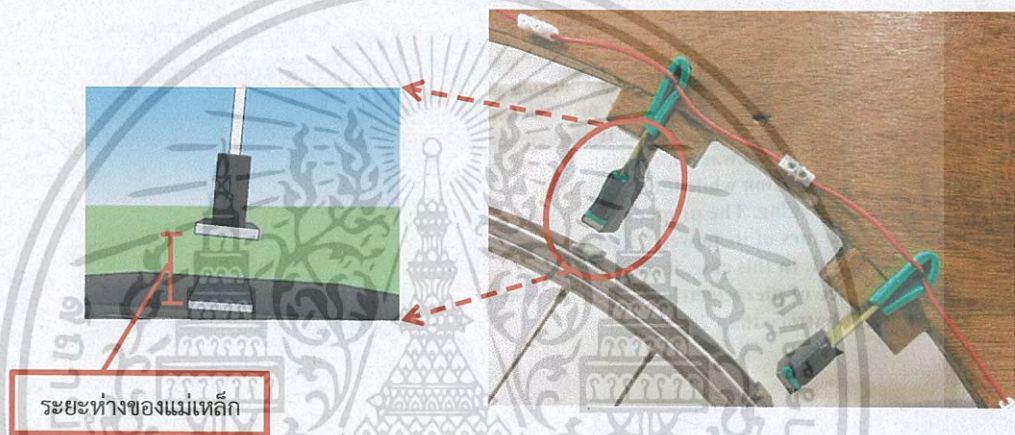
ในการทดลองทำการวัดแรงดันไฟฟ้าจากการปั่นจักรยานที่ 3 ความเร็ว ได้แก่ 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที โดยอุปกรณ์วัดความเร็วที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งตำแหน่งจุดวัดแรงดันไฟฟ้ามี ดังนี้ จุดที่ 1 ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยการเชื่อมต่อกับวงจรเรียงกระแส แล้วนำไปเชื่อมต่อกับวงจรรักษาระดับแรงดัน ซึ่งเป็นจุดที่ 2 ที่ทำการวัด จากนั้นเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้ถือเป็นจุดที่ 3 ที่ทำการวัด และผ่านวงจรทบระดับแรงดัน ซึ่งเป็นจุดที่ 4 ที่ทำการวัด ก่อนที่จะจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ โดยกำหนดระยะห่างของแม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อจักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ได้แก่ 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2



(ก) อุปกรณ์วัดความเร็ว



(ข) ตำแหน่งจุดวัดแรงดันไฟฟ้า



ระยะห่างของแม่เหล็ก

(ค) ตำแหน่งการปรับระยะห่างของแม่เหล็ก
รูปที่ 4.2 การทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้า

- โดย จุดที่ 1 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น
จุดที่ 2 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน
จุดที่ 3 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่
จุดที่ 4 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรทระดับแรงดัน

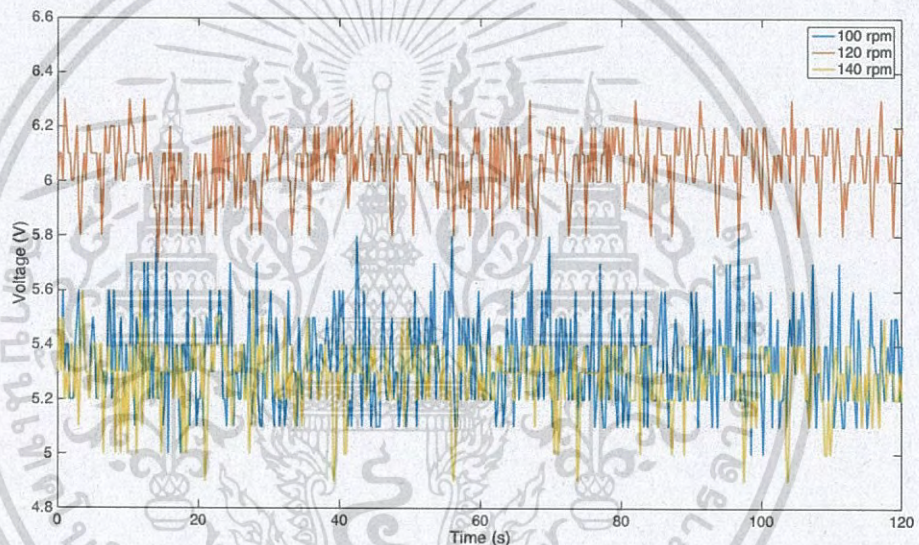
4.2 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

จากการทดลองการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา โดยการป้อนจ็กรยานต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที และวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ โดยกำหนดให้ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งการวัดทั้ง 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.5

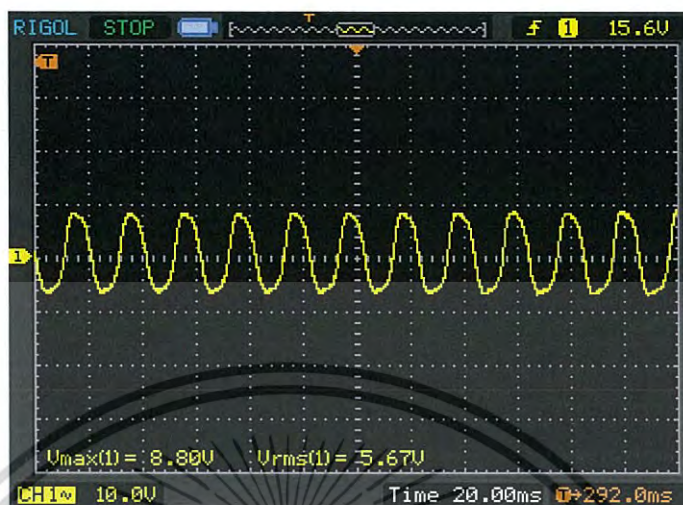
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 1 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น

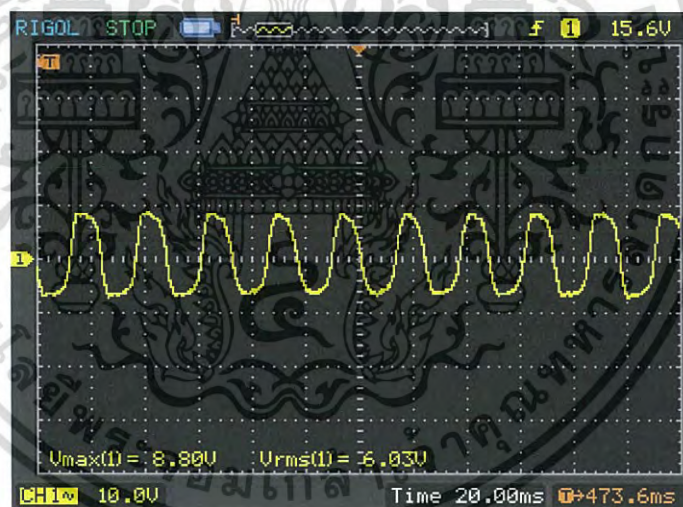
จากรูปที่ 4.3 (ก) เห็นได้ว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 5.3-5.7, 5.8-6.2 และ 5.0-5.5 V ตามลำดับ และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีลักษณะดังรูปที่ 4.3 (ข), (ค) และ(ง) ซึ่งช่วงที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในแต่ละความเร็ว เป็นผลมาจากแรงผลึกกันของแม่เหล็ก และแรงดันไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลงจนกว่าแม่เหล็กตำแหน่งถัดไปเคลื่อนที่มาผลึกกันอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำให้โดยรวมค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง และอาจเป็นผลมาจากแรงปั่นจักรยานที่ไม่คงที่



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเมื่อเทียบกับเวลา

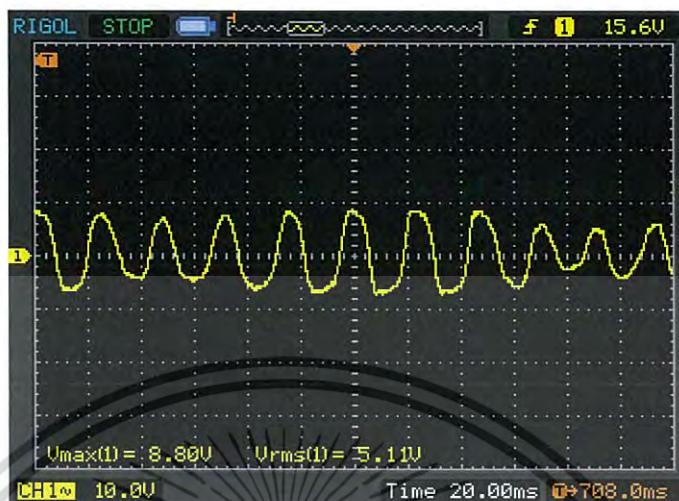


(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที

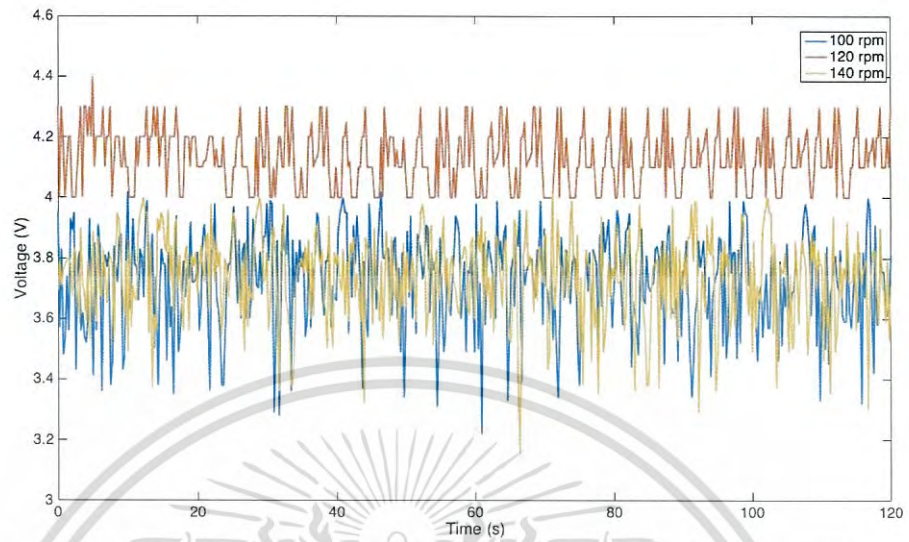
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที
รูปที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

- จุดที่ 2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.4 (ก) เห็นได้ว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.4-4.0, 4.0-4.4 และ 3.4-4.0 V ตามลำดับ และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีลักษณะดังรูปที่ 4.4 (ข), (ค) และ(ง) เนื่องจากผลของการปั่นจักรยานที่ไม่คงที่ ทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงเท่าที่ควร



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที



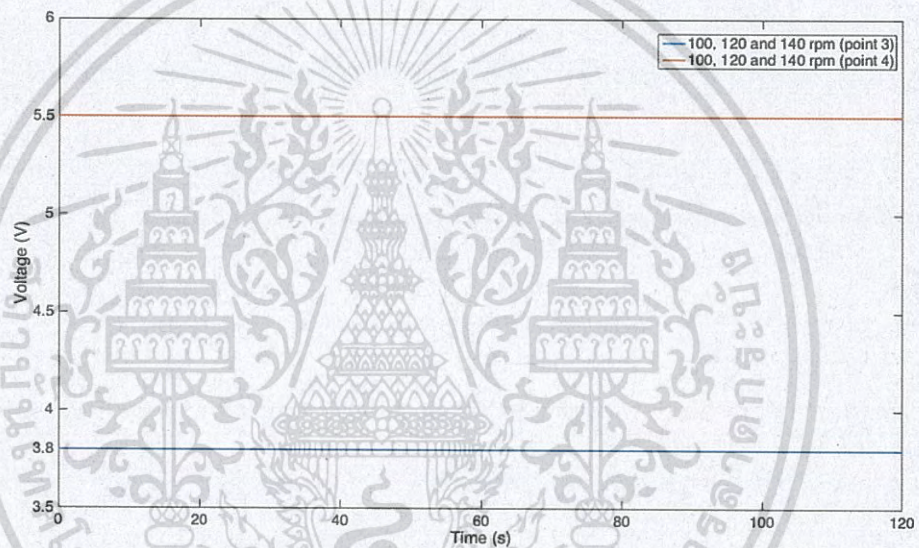
(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

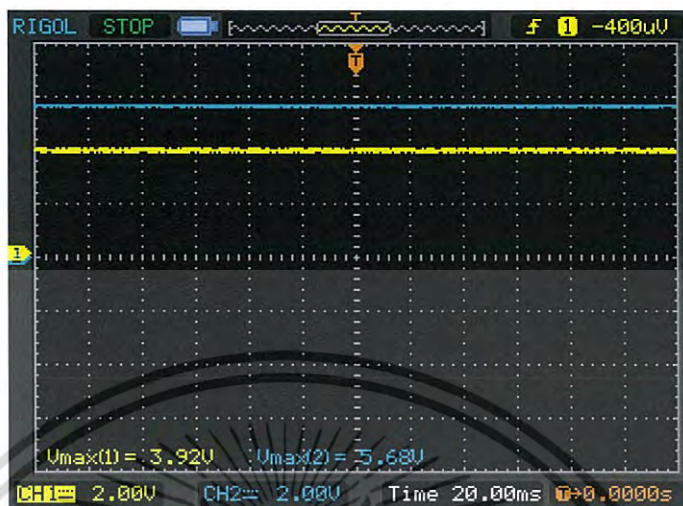
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 3 และจุดที่ 4 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.5 (ก) เห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าหลังแบตเตอรี่มีค่าคงที่เท่ากับ 3.8 V และหลังผ่านวงจรระดับแรงดันมีค่าคงที่เท่ากับ 5.5 V ในทุกความเร็วรอบของการปั่นจักรยาน เนื่องจากคุณสมบัติของแบตเตอรี่และวงจรระดับแรงดันที่จ่ายแรงดันด้านออกคงที่ แต่หากจ่ายเป็นเวลานานแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะมีค่าลดลง จากรูปที่ 4.5 (ข) เมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ พบว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเป็นเส้นตรง



- (ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา



- (ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทบระดับแรงดันที่มีความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที รูปที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.67	6.03	5.11
	กระแส (มิลลิแอมป์)	18	20	14
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	102.1	120.6	71.54
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.76	4.16	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	30.08	37.44	31.36
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
จุดที่ 4	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

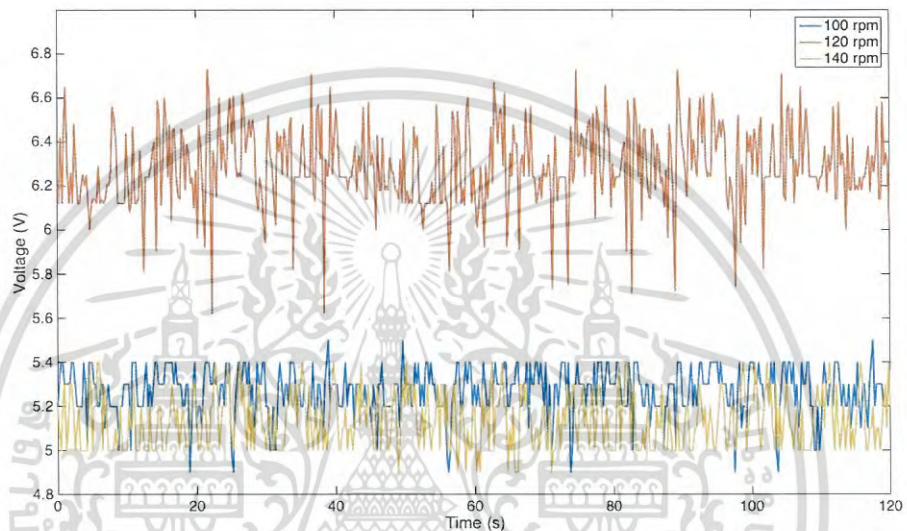
4.3 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

ในรูปที่ 4.6-4.8 เป็นการทดลองการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา โดยการปั่นจักรยานต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที และวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ โดยกำหนดให้ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งการวัดทั้ง 4 จุด

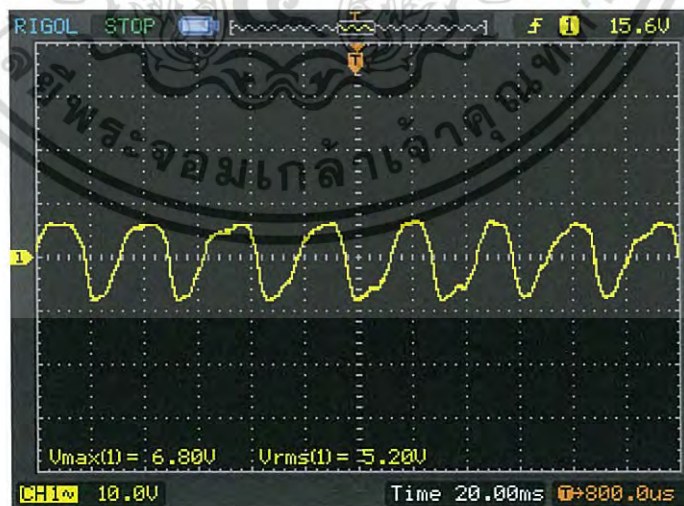
- จุดที่ 1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น

จากผลการทดลองเมื่อเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปที่ 4.6 (ก) กับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตรในรูปที่ 4.3 (ก) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้ว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที

ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.9-5.5, 5.6-6.6 และ 4.9-5.4 V ตามลำดับ และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีลักษณะดังรูปที่ 4.6 (ข), (ค) และ(ง) ซึ่งค่าของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 4.3

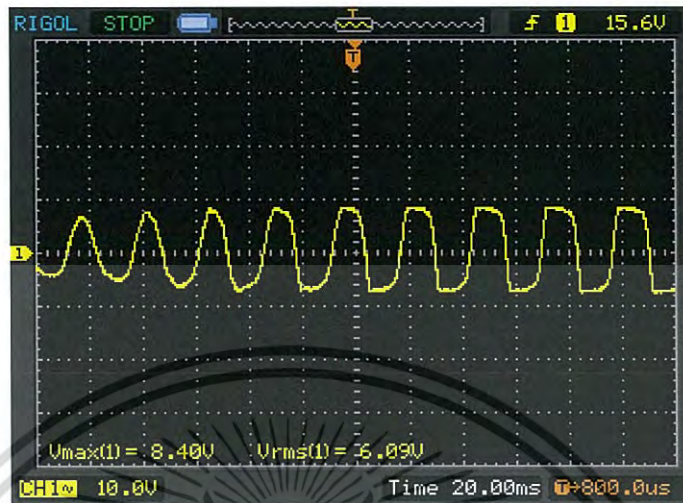


(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเมื่อเทียบกับเวลา

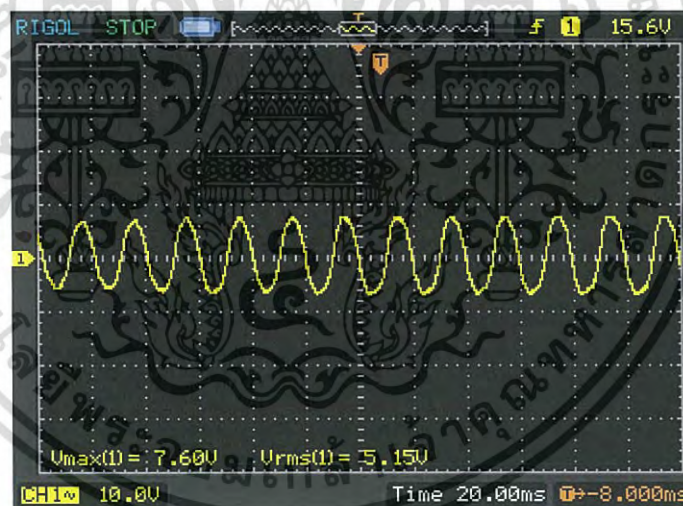


(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที



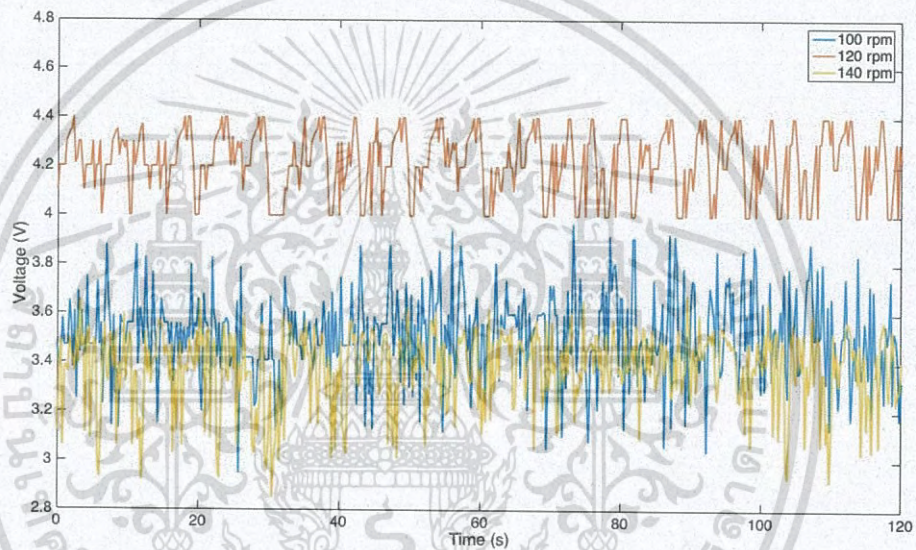
(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

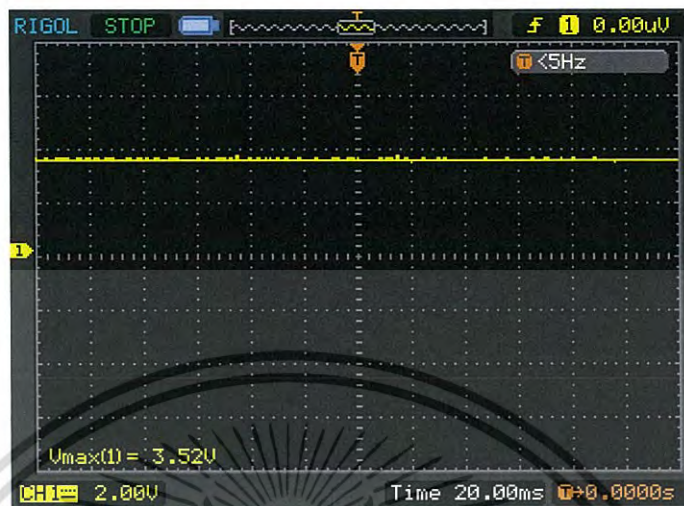
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.7 (ก) เห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.0-3.9, 4.0-4.4 และ 2.9-3.7 V ที่การปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 4.4 (ก) พบว่ามีช่วงใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 4.7 (ข), (ค) และ(ง) เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงเท่าที่ควรเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ในรูปที่ 4.4



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา

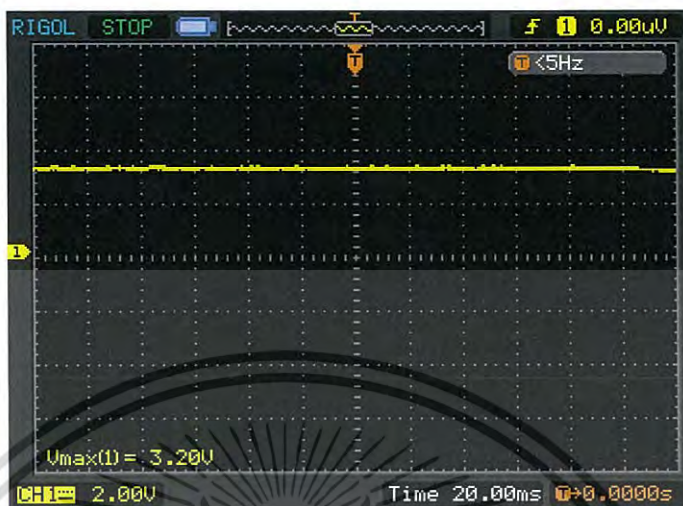


(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที

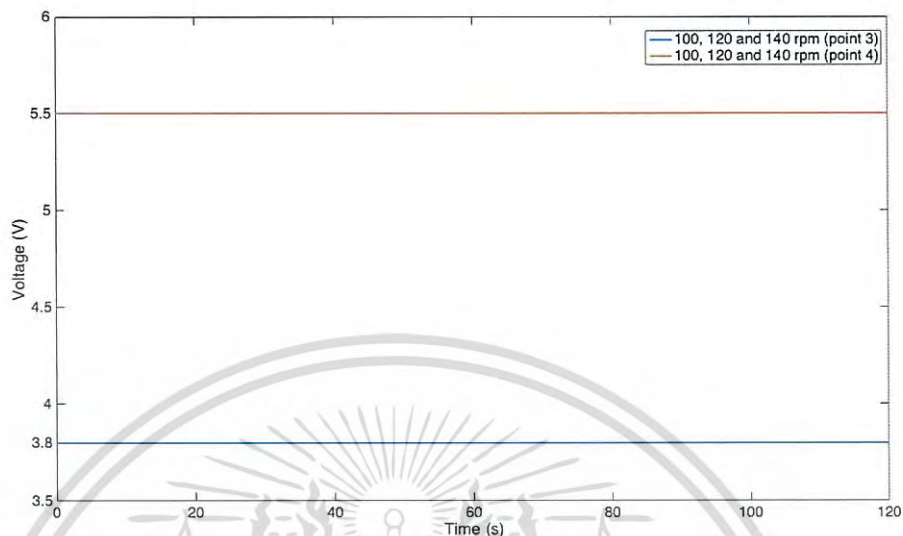
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

- จุดที่ 3 และจุดที่ 4 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทระดับแรงดัน
 ในทุกความเร็วรอบของการปั่นจักรยาน เห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าหลังแบตเตอรี่มี
 ค่าคงที่เท่ากับ 3.8 V และหลังผ่านวงจรทระดับแรงดันมีค่าคงที่เท่ากับ 5.5 V ดังรูปที่ 4.8 (ก)
 และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ พบว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเป็นเส้นตรง
 ดังรูปที่ 4.5 (ข) เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 4.5



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทบระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทบระดับแรงดันที่ความเร็ว

100, 120 และ 140รอบต่อวินาที

รูปที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.20	6.09	5.15
	กระแส (มิลลิแอมป์)	14	20	15
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	72.8	121.8	77.25
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.52	4.20	3.20
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	28.16	37.8	25.6
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
จุดที่ 4	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

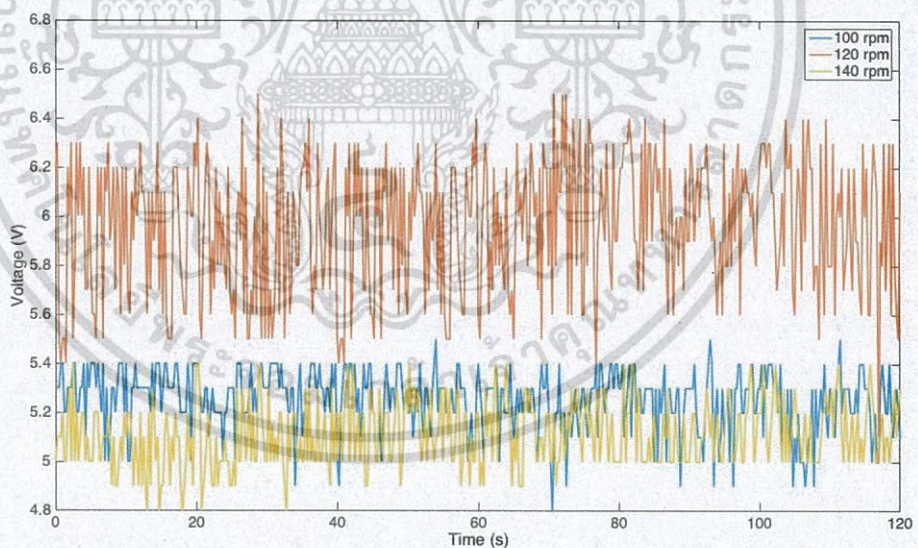
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 มิลลิเมตร เห็นได้ว่าในจุดที่ 1 มีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก มีระยะการสั่นที่ใกล้เคียงกัน เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแส และวงจรรักษาระดับแรงดัน จึงส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดที่ 2 มีค่าเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 8, 9 และ 8 V ตามลำดับ ที่ความเร็วเท่ากับ 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที ตามลำดับ ส่วนจุดที่ 3 และจุดที่ 4 เห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าหลังแบตเตอรี่มีค่าคงที่เท่ากับ 3.8 V และหลังผ่านวงจรทบระดับแรงดันมีค่าคงที่เท่ากับ 5.5 V

4.4 ผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

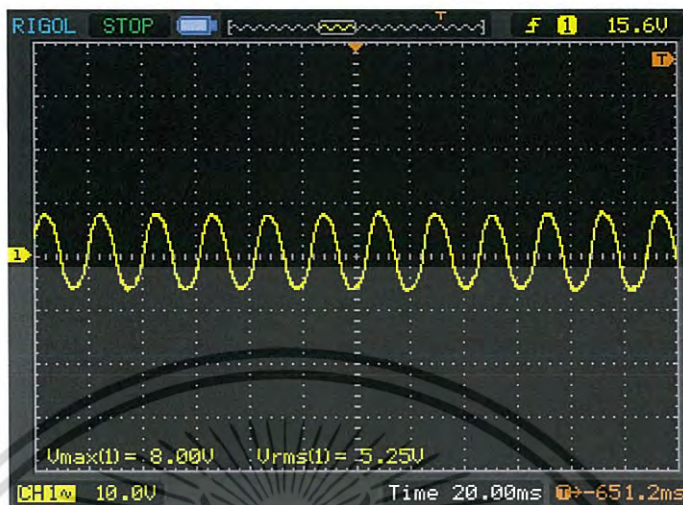
ทำการทดลองปั่นจักรยานต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที เพื่อเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา และวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ โดยกำหนดให้ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งการวัดทั้ง 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9-4.11

- จุดที่ 1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น

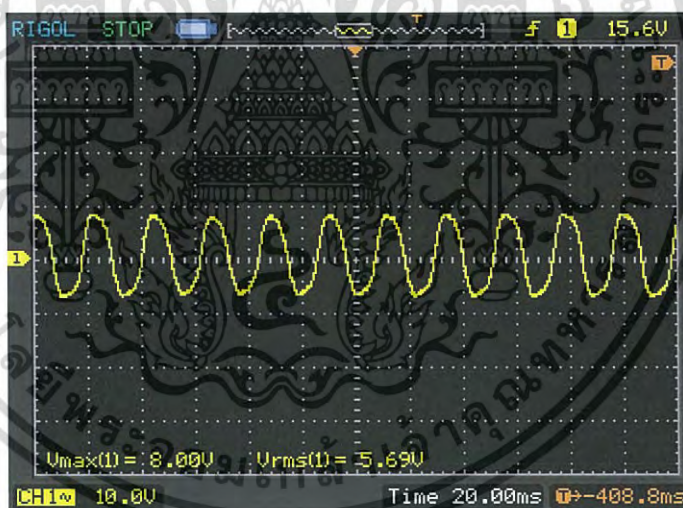
เมื่อพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในทุกๆ ระยะห่างของแม่เหล็ก พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.9-5.5, 5.4-6.5 และ 4.8-5.4 V ที่การปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีลักษณะดังรูปที่ 4.9 (ข), (ค) และ(ง) เห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง เป็นเช่นเดียว กับที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 4.3 และ 4.6



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเมื่อเทียบกับเวลา

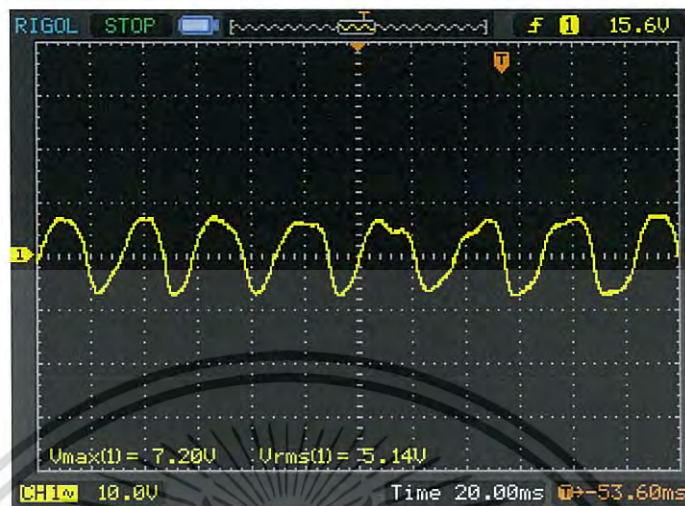


(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที

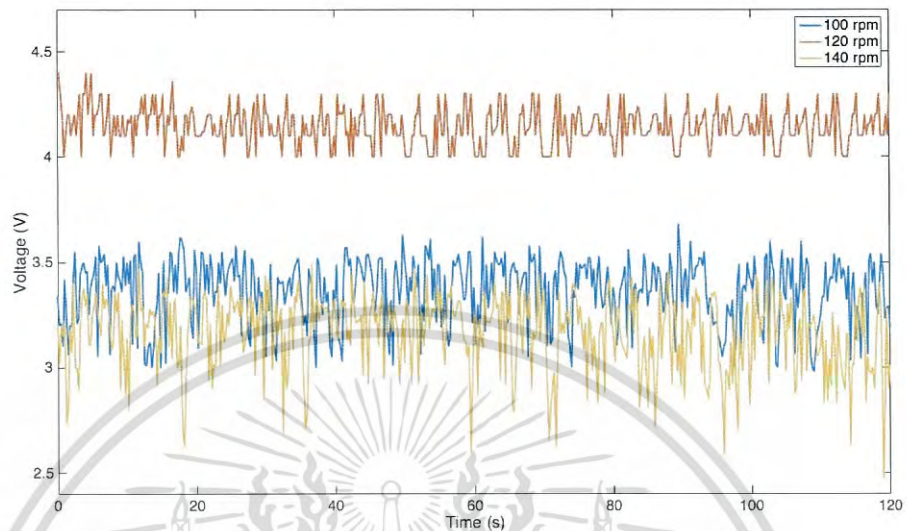
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที รูปที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 1 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

- จุดที่ 2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.10 (ก) เห็นได้ว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3.0-3.7, 4.0-4.4 และ 2.6-3.5 V ตามลำดับ จากผลการทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และในรูปที่ 4.10 (ข), (ค) และ(ง) แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงเท่าที่ควร เนื่องจากการปั่นจักรยานที่ไม่คงที่ ดังที่กล่าวมาข้างต้นในรูปที่ 4.4 และ 4.7

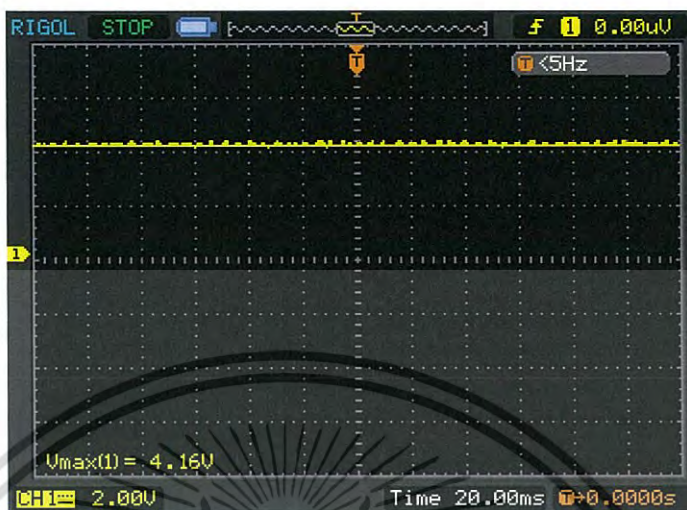


(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที



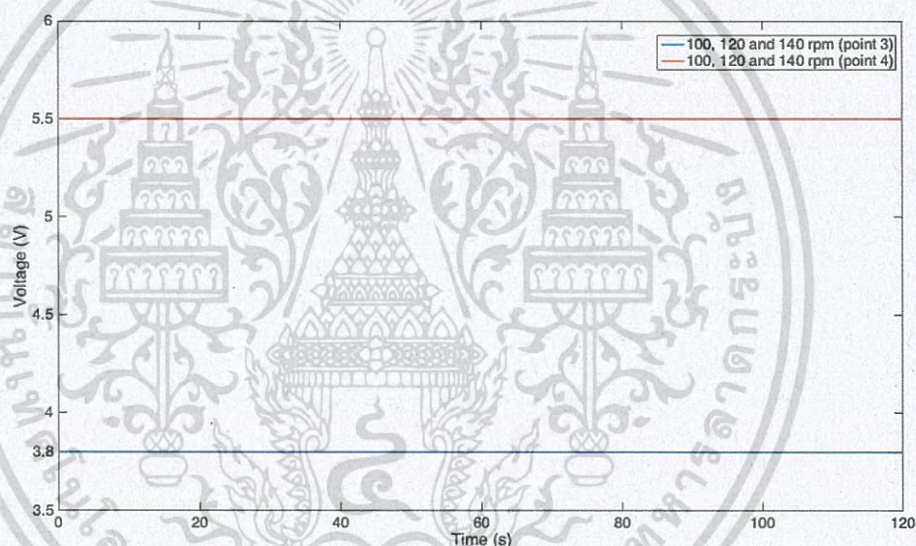
(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดันที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 2 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 3 และจุดที่ 4 แรงดันไฟฟ้า

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5, 4.8 และ 4.11 พบว่าการเปลี่ยนระยะห่างของแม่เหล็กและความเร็วในการปั่นจักรยาน ไม่ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทระดับแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.8 และ 5.5 V ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ก) และเมื่อวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ พบว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ข) แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะมีค่าลดลง หากจ่ายโหลดเป็นเวลานาน ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าหลังวงจรทระดับแรงดันมีค่าลดลงตามไปด้วย



(ก) ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่และหลังวงจรทระดับแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังเบตเตอร์และหลังวงจรทบระดับแรงดันที่ความเร็ว 100, 120 และ 140 รอบต่อวินาที

รูปที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าที่จุดวัดที่ 3 และ 4 ที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.25	5.69	5.14
	กระแส (มิลลิแอมป์)	14	18	15
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	73.5	102.4	77.1
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.36	4.16	3.20
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	26.88	37.44	25.6
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
จุดที่ 4	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 เป็นการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 และ 9 มิลลิเมตร เห็นได้ว่าในแต่ละจุดวัดของแต่ละระยะห่างของแม่เหล็กที่ได้ทำการทดลองแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจะให้ค่าแรงดันใกล้เคียงกัน เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาในตารางที่ 4.2

จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนระยะห่างของแม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อจักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกให้ค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน จึงเลือกระยะ 12 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นระยะที่ให้แรงผลักของแม่เหล็กมากที่สุดที่ไม่ทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหาย และพบว่า การปั่นจักรยานที่ความเร็ว 100 และ 140 รอบต่อนาทีไม่สามารถเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่อง แต่ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมากที่สุด เมื่อผ่านวงจรรักษาระดับแรงดัน เห็นได้ว่าเป็นการเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นช่วงความเร็วรอบที่ทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นที่เหมาะสมและมีค่าความถี่ใกล้เคียงความถี่ธรรมชาติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

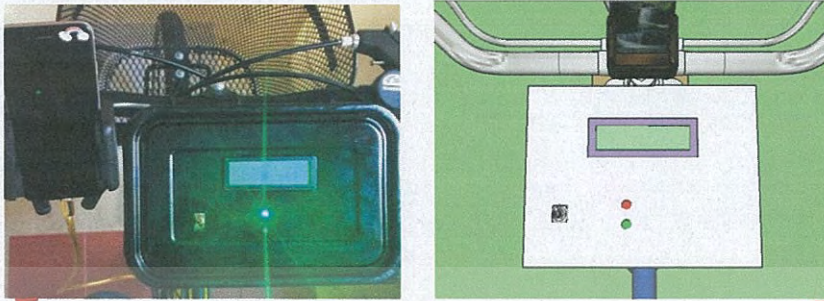
5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบเครื่องออกกำลังภายในรูปแบบจักรยาน โดยนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้กับจักรยาน โดยอาศัยแรงทางกลจากการปั่นจักรยานซึ่งเป็นการนำพลังงานที่สูญเสียโดยเปล่าประโยชน์มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าจากการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ในแต่ละจุดการวัด คือ จุดที่ 1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขนานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น จุดที่ 2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน จุดที่ 3 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่ และจุดที่ 4 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรปรับระดับแรงดัน โดยกำหนดระยะห่างของแม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อจักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลังวงจรปรับระดับแรงดัน (จุดที่ 4) เท่ากับ 5.68 โวลต์ และ 88 มิลลิแอมป์ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 500 มิลลิวัตต์ ใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 2000 mAh เท่ากับ 23 ชั่วโมง

โดยพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แรงทางกล, ความเร็วรอบในการปั่นจักรยาน, ระยะห่างของแม่เหล็ก, ความต่อเนื่องของการปั่นจักรยาน, ประสิทธิภาพของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และประสิทธิภาพของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก จึงได้พัฒนางจรเก็บเกี่ยวพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งเลือกใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการปั่นจักรยาน

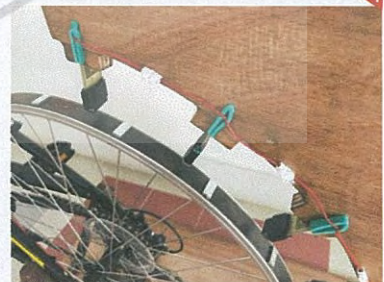
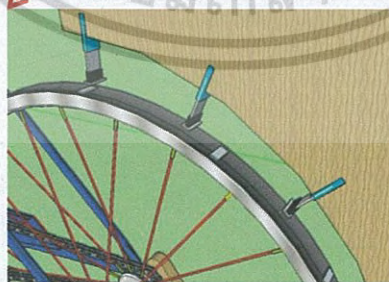
ปริญญานิพนธ์นี้ได้เสนอแนวความคิดการประยุกต์ใช้กับจักรยานเคลื่อนที่ โดยจ่ายโหลดให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ บนรถจักรยาน และอุปกรณ์พกพาที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำสำหรับนักปั่นจักรยาน ยกตัวอย่างเช่น ไดโอดเปล่งแสงช่วยนำทางระหว่างปั่นจักรยาน และจอแสดงผล



(ก) ที่วางโทรศัพท์มือถือและจอแสดงผล



(ข) ชิ้นงานจริง



(ค) ส่วนของล้อหลัง

รูปที่ 5.1 จักรยานออกกำลังกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. หากต้องการพลังงานที่เก็บสะสมลงแบตเตอรี่มากขึ้น และใช้ระยะเวลาน้อยลง ควรเพิ่มจำนวนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก
2. สำหรับการนำไปติดตั้งในพื้นที่จริง ควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ โดยสามารถเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ ที่เหมาะสมและคงทนกับการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). Smart City คืออะไร? สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/smart-city-คืออะไร>
- [2] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City). สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ-smart-city>
- [3] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). Smart City กับหลักการสำคัญสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/smart-city-กับหลักการสำคัญสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ>
- [4] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). 10 เมืองสุดยอด Smart City ในโลก. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/10-เมืองสุดยอด-Smart-City-ในโลก>
- [5] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). แผนพัฒนาเมืองอัจฉริยะมีประโยชน์ต่อด้านสิ่งแวดล้อมอย่างไร?. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/แผนพัฒนาเมืองอัจฉริยะมีประโยชน์ต่อด้านสิ่งแวดล้อมอย่างไร>
- [6] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). Smart City ดีต่อเศรษฐกิจอย่างไร?. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/smart-city-ดีต่อเศรษฐกิจอย่างไร>
- [7] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). การพัฒนาเมืองอัจฉริยะกับประโยชน์ที่สังคมจะได้รับ. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/การพัฒนาเมืองอัจฉริยะกับประโยชน์ที่สังคมจะได้รับ>
- [8] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). Smart City กับประโยชน์ด้านผังเมือง. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/smart-city-กับประโยชน์ด้านผังเมือง>

- [9] มุลนิธิพัฒนางานผู้สูงอายุ. (2558). สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทย (ด้านประชากร). สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <https://fopdev.or.th/สถานการณ์ผู้สูงอายุในปี/>
- [10] Kapook! HEALTH. (2553). เลือกชนิดกีฬาให้เหมาะกับวัยของคุณ. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <https://health.kapook.com/view12335.html>
- [11] สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). ภูมิภาคอาเซียนกับการรับมือพลังงานในอนาคต. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2560, แหล่งที่มา : <http://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/volume31.pdf>
- [12] คັນฉนีย์ รักไทยเจริญชีพ. (ตุลาคม 2555). วัสดุเพียโซอิเล็กทริก. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2560, แหล่งที่มา :<http://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2555-pieso.pdf>
- [13] G. Bassani, A. Filippeschi and E. Ruffaldi, "Human motion energy harvesting using a piezoelectric MFC patch," 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, 2015, pp. 5070-5073.
- [14] Noaman Makki, Remon Pop-Iliev, "Piezoelectric power generation in tires," 2011 SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.12011104.003702
- [15] A. D. Kumar and S. Sumathi, "Renewable energy source piezo electric harvesters in car tyres," 2015 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2015, pp. 1-5.
- [16] Madan Mohan Behera, "Piezoelectric Energy Harvesting from Vehicle Wheels," 2015 International Journal of Engineering Research & Technology, Volume. 4 - Issue.
- [17] S. H. Mohamad, A. Z. Jidin, M. F. Yaakub, S. Ahmad and N. A. N. Azlan, "Microgeneration of electrical energy using piezoelectric from car movement," 2016 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Melaka, 2016, pp. 818-822.
- [18] E. Minazara ,D. Vasic and F. Costa, "Piezoelectric Generator Harvesting Bike Vibrations Energy to Supply Portable Devices," 2008 RE&PQJ, Vol. 1, No.6, March 2008
- [19] T. Ishii et al., "A flapping-based piezoelectric power generator for bicycle applications," 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Edinburgh, 2017, pp. 921-925.

- [20] ภาณุ ไทยนิรมิตร, "การพัฒนาการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยวิธีทางไพเอโซอิเล็กทริก," วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556.
- [21] S Roundy¹ and P KWright², "A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics," Published 11 August 2004
- [22] M. M. Peretz and S. Ben-Yaakov, "Thermal effects on the stability of piezoelectric transformers based ballasts for Cold Cathode Fluorescent Lamps," *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, 2006, pp. 1-7.
- [23] M. Yerra, A. Nasipuri and H. Duemmler, "Sequential state logic for pneumatic valve monitoring using piezo film sensors," *SoutheastCon 2017*, Charlotte, NC, 2017, pp. 1-8.
- [24] L. E. Cross and R. E. Newnham, "Ferroelectric, piezoelectric, and electrooptic materials," *Digest of Literature on Dielectrics Volume 34 1970*, Washington, DC, USA, 1970, pp. 374-432.
- [25] P. Dong *et al.*, "Modeling and examination of class-E DC-DC converter using piezoelectric transformer for automotive applications," *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, 2006, pp. 1-6.
- [26] P. Saha, S. Goswami, S. Chakrabarty and S. Sarkar, "Simulation and model verification of shoe embedded piezoelectric energy harvester," *2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON)*, Delhi, 2014, pp. 1-6.
- [27] Kirubaveni S, Radha S, Indhu R and Sreeja B S, "An optimized design of low frequency bi-layered piezo-strip based vibration micro-generator," *2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, Coimbatore, 2016, pp. 1-6.
- [28] T. Nakamura, S. Tani, I. Ito and Y. Kobayashi, "Beyond 500-kHz bandwidth piezoelectric transducers for GHz-comb applications," *2017 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC)*, Munich, Germany, 2017, PP. 1-1
- [29] A. Ens and L. M. Reindl, "Wide-Band Piezo-Electric Ultrasound Transceiver Matching," *Sensors and Measuring Systems 2014; 17. ITG/GMA Symposium*, Nuremberg, Germany, 2014, pp. 1-4.

- [30] S. Zhao, Y. Ramadass, J. H. Lang, J. Ma and D. Buss, "Bias-flip technique for frequency tuning of piezo-electric energy harvesting devices: Experimental verification," *2014 SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference (S3S)*, Millbrae, CA, 2014, pp. 1-3.
- [31] D. Bazargan, S. Filizadeh and A. M. Gole, "Stability Analysis of Converter-Connected Battery Energy Storage Systems in the Grid," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 4, pp. 1204-1212, Oct. 2014.
- [32] K. Zhi-Guo, Z. Chun-Bo, L. Ren-Gui and C. Shu-Kang, "Comparison and evaluation of charge equalization technique for series connected batteries," *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, 2006, pp. 1-6.
- [33] B. P. McGrath, D. G. Holmes, P. McGoldrick and A. Mclver, "Design of a soft switched 6kW battery charger for traction applications," *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, 2006, pp. 1-7.
- [34] I. Alsaidan, A. Khodaei and W. Gao, "A Comprehensive Battery Energy Storage Optimal Sizing Model for Microgrid Applications," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. PP, no. 99, pp.11.
- [35] T. Lueangamornsiri, W. Wichakool and K. Chalermyanont, "Solar battery charger using a multi-stage converter," *2017 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM)*, Batu Ferringhi, Penang, Malaysia, 2017, pp. 139-142.
- [36] K. Lawsri and S. Po-Ngam, "DC electronics load for AH battery testing," *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Pattaya, Thailand, 2017, pp. 1-4.
- [37] Y. Zhang, R. Xiong, H. He and Z. Liu, "A LSTM-RNN method for the lithium-ion battery remaining useful life prediction," *2017 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Harbin)*, Harbin, China, 2017, pp. 1-4.
- [38] Z. Chen, X. Shu, M. Sun, J. Shen and R. Xiao, "Charging strategy design of lithium-ion batteries for energy loss minimization based on minimum principle," *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, Harbin, China, 2017, pp. 1-6.

- [39] C. Quann and T. H. Bradley, "Renewables firming using grid scale battery storage in a real-time pricing market," *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, USA, 2017, pp. 1-5.
- [40] F. Saidani, F. X. Hutter, W. Selinger, Z. Yu and J. N. Burghartz, "A lithium-ion battery demonstrator for HEV applications featuring a smart system at cell level," *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Vienna, Austria, 2017, pp. 1-5.
- [41] จันทรชัย หญิงประยูรม. ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric). สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://www.vcharkarn.com/vcafe/133225>
- [42] บทที่ 9 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit). สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://navapadol.files.wordpress.com/2015/09/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b9889.pdf>
- [43] บทที่ 1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit). สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา: <http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php?action=dlatattach;topic=1053.0;attach=4461>
- [44] ประภัสสร คำวงศ์ษา. Mini project Boost converter DC - DC 9V to 40V. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://parapopsaipan.blogspot.com/2015/12/mini-project-boost-converter-dc-dc-9v.html>
- [45] วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซีตระกูล 78XX และ 79XX. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1155035253.pdf>
- [46] ดร. วรวิศ กอปรสิริพัฒน์. ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitors). สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : http://www.temcathai.com/download/magazine/volume_21_issue_2/75.pdf
- [47] ความหมายและชนิดของแบตเตอรี่. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://solarsmileknowledge.com/battery/ความหมายแบตเตอรี่/>
- [48] แบตเตอรี่. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/แบตเตอรี่>
- [49] คุณรู้หรือไม่ว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดเหมือนหรือต่างกันอย่างไร. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://www.facebook.com/Thaiphonetech/posts/1452230871681623>

- [50] Arduino คืออะไร. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://poundxi.com/arduino.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับเมืองอัจฉริยะ PUBLIC ADAPTIVE MOTION DEVELOPMENT FOR SMART CITY

สุภลักษณ์ เตียวคุณูปการ อนุภัทร มัชฌิโม อาทิตมา ทองนำ และ อิทธิพัฒน์ ธรรมชิวิน
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

E-mail: supalak.teaw@gmail.com, tumman666@hotmail.com, artima.thongnam@gmail.com, Pompoey_29@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการเก็บสะสมพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบของเครื่องออกกำลังกายชนิดจักรยาน โดยนำจักรยานที่มีอยู่ มาดัดแปลงติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยอาศัยแรงทางกลจากการปั่นจักรยานมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า และเก็บลงแบตเตอรี่ จากผลการทดลองได้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าดังนี้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 500 มิลลิวัตต์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5.68 โวลต์ และ 88 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ ใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 2000 mAh เป็นเวลา 1363 นาที หรือ 23 ชั่วโมง การออกแบบชุดต้นแบบเครื่องออกกำลังกายสาธารณะที่มีการเก็บสะสมพลังงานด้วยแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้นำเสนอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งบริเวณสวนสาธารณะ หรือสถานที่ออกกำลังกาย เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ในอนาคต

Abstract

This project aims to present the prototype of public adaptive motion with harvesting energy feature from piezoelectric materials in form of exercise bicycle. The existing bicycle has been modify by installed piezoelectric plates. The mechanical force from motion of bicycle is converted to electrical energy and charge to battery. The result from testing prototype in term of electrical parameter is shown that at rated cycling, power can be generated at 500 mW with voltage and current at 5.68 V and 88 mA respectively. It can charge battery with capacity 2000 mAh at 1363 minute or approximately 23 hour. Design of propose prototype shown the suitability in application of piezoelectric material in public or

exercise space with feature that can be used to charge and operate electronic device in the future.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ในเมืองนั้นเป็นสิ่งสำคัญ โดยการพัฒนาเมืองให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลกระทบให้เหลือน้อยที่สุด สุภาพการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ทำให้เกิดแนวคิดสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ (Smart City) โดยเมืองอัจฉริยะ [1] หนึ่งในนั้นคือการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ประกอบกับการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในขณะที่มีการพัฒนาเมืองอัจฉริยะแบ่งการพัฒนาไปตามชุมชนต่าง ๆ ทางคณะผู้จัดทำเล็งเห็นถึงความสำคัญของชุมชนผู้สูงอายุ เนื่องจากจำนวนประชากรของผู้สูงอายุมิแนวโน้มที่มากขึ้น [2] กิจกรรมการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับวัยผู้สูงอายุนั้น [3] การปั่นจักรยานถือว่าเป็นการออกกำลังกายที่ทำได้โดยไม่ต้องออกแรงมาก การปั่นจักรยานในที่สาธารณะนั้นเป็นลักษณะการปั่นอยู่กับที่ ทำให้ไม่ต้องห่วงเรื่องอันตรายจากการจราจรในชุมชนจากการศึกษาการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ การบริหารพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รัฐบาลเริ่มให้ความสำคัญในการหาหนทางแก้ไขปัญหา โดยส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในประเทศ ซึ่งพบว่าพลังงานทางเลือกที่ประเทศไทยมี หนึ่งในนั้น คือพลังงานที่มาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น เพียโซอิเล็กทริก เป็นต้น [4]

ทางคณะผู้จัดทำเล็งเห็นว่าพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ และการปั่นจักรยานกำลังได้รับความนิยม จึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องออกกำลังกายที่ดัดแปลงมาจากจักรยาน โดยนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากการปั่นจักรยาน มาแปลงให้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปของพลังงาน ใช้ร่วมกับวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ นำพลังงานมาเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ และจ่ายให้โทรศัพท์มือถือ

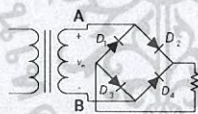
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (Mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางตรง (Direct piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้า ทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์คอนเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (Converse piezoelectric effect) โดยการเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ [5]

2.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะต่อเข้ากับสองมุมของวงจรบริดจ์และถูกนำออกทั้งสองมุมที่เหลือ

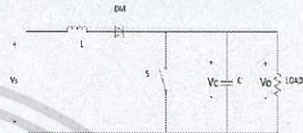


รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุต สมมติว่าเมื่อขั้ว A ของขดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวก และขั้ว B มีค่าเป็นลบ จึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลลบถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ไดโอด D_2 และ D_3 อยู่ในลักษณะไบอัสกระแสตรง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร จากขั้ว A ผ่านไดโอด D_2 ความต้านทานโหลดและไดโอด D_3 แล้วกลับเข้าสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง และเมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นขั้วที่ขั้ว B และเป็นลบที่ขั้ว A การนำกระแสของไดโอดเปลี่ยนไปโดยเริ่มจากจุด B ของขดทุติยภูมิ ผ่านไดโอด D_4 ความต้านทานโหลด และไดโอด D_1 กลับเข้าสู่ขั้ว A ของหม้อแปลง ทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดมีทิศทางเดียวกับตอนแรก คือ มีขั้วบวกอยู่ทางด้านบน ดังนั้นการนำกระแสไดโอดเกิดสลับกันทีละสองตัว คือ D_2 กับ D_3 และ D_1 กับ D_4 [6]

2.3 วงจรยกระดับแรงดัน (Boost Converter)

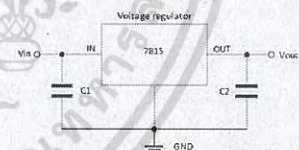
วงจรยกระดับแรงดัน (Boost Converter) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input) ที่ป้อนเข้ามาในวงจร โดยจะใช้มอสเฟตกำลัง (MOSFET) หรือ ไอจีบีที (IGBT) ทำหน้าที่แทนสวิตช์ โดยจังหวะหรือความถี่ในการสวิตช์จะถูกควบคุมจากวงจรขับอีกทีหนึ่ง [7]



รูปที่ 2 วงจรยกระดับแรงดัน

2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuit)

ไอซี 7815 เป็นอุปกรณ์รักษาแรงดันแบบบวกคงที่ คงที่ขนาด 15 V ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยไอซี 7815 ขา IN จะต่อกับแรงดันไฟบวกส่วนขา GND จะต่อกับฟลอบ มี C_1 เพื่อลดค่าความเหนี่ยวนำภายในไอซี มีค่า 0.1 μF ชนิดเซรามิก และ C_2 มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งมักใช้ค่าเท่ากับ C_1 การป้อนแรงดันไฟฟ้าขา IN และขา OUT จะต้องมีความต่างกันพอสมควร โดยดูจากค่า $V_{in} - V_{out}$ ใน Data Sheet ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2V ฉะนั้นแรงดันที่ขา IN ต้องป้อนมากกว่า 17 V แต่ไม่น้อยกว่าค่า $V_{in(max)}$ ซึ่งเท่ากับ 35V [8]



รูปที่ 3 วงจรรักษาระดับแรงดัน

2.5 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Li-ion) เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้อย่างกว้างขวางที่สุดแบบหนึ่ง แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางทั้งในเครื่องโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แบบโน้ตบุ๊ก เป็นต้น โดยมีข้อดี คือ มีความสามารถในการเก็บประจุต่อน้ำหนักที่มากที่สุดจึงสามารถสร้างแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาได้ มีศักยภาพไฟฟ้สูงกว่าแบบอื่น และไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา ไม่มีเมมโมรีเอฟเฟ็คท์ มีอัตราการเสียประจุไฟฟ้าด้วยตัวเองต่ำ [9]

3. การออกแบบและจำลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

เป็นการออกแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบของจักรยานออกกำลังกาย โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน และเก็บอยู่ในรูปของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4 แบบจำลองจักรยานออกกำลังกาย

3.1 การจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริก

เป็นการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ตั้งแต่จำนวน 1 ถึง 4 แผ่น ที่ความเร็ว 75 และ 120 รอบต่อนาที โดยทำการต่อแบบอนุกรมและขนาน เพื่อเลือกลักษณะการต่อที่ให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

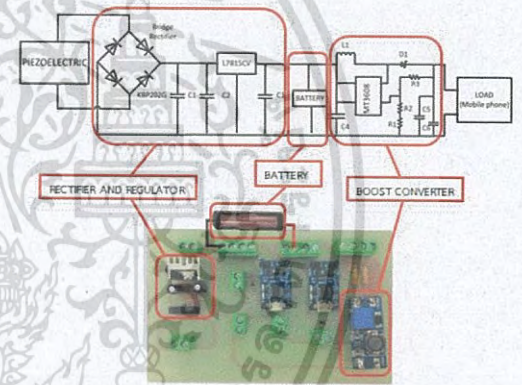
ตารางที่ 1 สรุปผลการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

ลักษณะการต่อ	ความเร็ว 75 รอบต่อนาที			ความเร็ว 120 รอบต่อนาที		
	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
1 แผ่น	14.4	0.09×10^{-3}	1.3×10^{-3}	22.5	0.10×10^{-3}	2.24×10^{-3}
2 แผ่นอนุกรมกัน	24.1	0.10×10^{-3}	2.40×10^{-3}	30.3	0.11×10^{-3}	3.40×10^{-3}
3 แผ่นอนุกรมกัน	38.9	0.12×10^{-3}	4.79×10^{-3}	44.1	0.14×10^{-3}	6.2×10^{-3}
4 แผ่นอนุกรมกัน	45.6	0.13×10^{-3}	5.92×10^{-3}	48.7	0.15×10^{-3}	7.23×10^{-3}
2 แผ่นขนานกัน	17.1	0.19×10^{-3}	3.25×10^{-3}	23.6	0.23×10^{-3}	5.47×10^{-3}
3 แผ่นขนานกัน	17.3	0.28×10^{-3}	4.84×10^{-3}	24.2	0.33×10^{-3}	8.05×10^{-3}
4 แผ่นขนานกัน	17.6	0.37×10^{-3}	6.51×10^{-3}	26.4	0.42×10^{-3}	11.2×10^{-3}

พบว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ได้ค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่าการปั่นจักรยานที่ความเร็ว 75 รอบต่อนาที เนื่องจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีระยะการสั่นมากกว่า และที่ความเร็วเดียวกัน การต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน ได้ค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่าการต่อแบบอนุกรม ดังนั้นจึงได้เลือกใช้การต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการเก็บลงแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ

3.2 การออกแบบวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

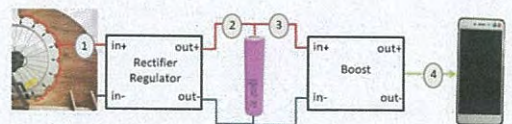
ประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator) แบตเตอรี่ (Battery) และวงจรทบระดับแรงดัน (Boost converter) เพื่อเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 5 วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองทำการวัดแรงดันไฟฟ้าจากการปั่นจักรยานที่ 3 ความเร็ว ได้แก่ 100, 120 และ 140 รอบต่อนาที ซึ่งตำแหน่งจุดวัดมีดังนี้



รูปที่ 6 ตำแหน่งจุดวัดแรงดันไฟฟ้า

โดย จุดที่ 1 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการขานแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 8 แผ่น

จุดที่ 2 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรรักษาระดับแรงดัน

จุดที่ 3 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังแบตเตอรี่

จุดที่ 4 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลังวงจรปรับระดับแรงดัน

กำหนดระยะห่างของแม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อ
จักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ได้แก่ 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6
มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.67	6.03	5.11
	กระแส (มิลลิแอมป์)	18	20	14
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	102.1	120.6	71.54
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.76	4.16	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	30.08	37.44	31.36
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
จุดที่ 4	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 9
มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.20	6.09	5.15
	กระแส (มิลลิแอมป์)	14	20	15
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	72.8	121.8	77.25
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.52	4.20	3.20
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	28.16	37.8	25.6
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
จุดที่ 4	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

ตารางที่ 4 สรุปผลการทดลองที่ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ
12 มิลลิเมตร

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 1	แรงดัน (โวลต์)	5.25	5.69	5.14
	กระแส (มิลลิแอมป์)	14	18	15
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	73.5	102.4	77.1
จุดที่ 2	แรงดัน (โวลต์)	3.36	4.16	3.20
	กระแส (มิลลิแอมป์)	8	9	8
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	26.88	37.44	25.6
จุดที่ 3	แรงดัน (โวลต์)	3.92	3.92	3.92
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88

ตำแหน่งการวัด		ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)		
		100	120	140
จุดที่ 4	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	345	345	345
	แรงดัน (โวลต์)	5.68	5.68	5.68
	กระแส (มิลลิแอมป์)	88	88	88
	กำลังไฟฟ้า (มิลลิวัตต์)	500	500	500

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 เป็นการทดลองที่
ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ
ผลการทดลองในตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นการทดลองที่
ระยะห่างของแม่เหล็กเท่ากับ 6 และ 9 มิลลิเมตร เห็นได้ว่าใน
แต่ละจุดวัดของแต่ละระยะห่างของแม่เหล็กที่ได้ทำการทดลอง
แผ่นเพียโซอิเล็กทริกจะให้ค่าแรงดันใกล้เคียงกัน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนระยะห่างของ
แม่เหล็กระหว่างบริเวณล้อจักรยานกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกให้
ค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน จึงเลือกระยะ 12 มิลลิเมตร
เนื่องจากเป็นระยะที่ให้แรงผลักของแม่เหล็กมากที่สุดที่ไม่ทำให้
แผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหาย และพบว่า การปั่น
จักรยานที่ความเร็ว 100 และ 140 รอบต่อนาทีไม่สามารถเก็บ
พลังงานลงแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่อง แต่ที่ความเร็ว 120 รอบ
ต่อนาที ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมากที่สุด เมื่อผ่านวงจรรักษา
ระดับแรงดัน เห็นได้ว่าสามารถเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ได้อย่าง
ต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นช่วงความเร็วรอบที่ทำให้แผ่นเพียโซ
อิเล็กทริกมีระยะการสั่นที่เหมาะสมและมีค่าความถี่ใกล้เคียง
ความถี่ธรรมชาติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). Smart City คืออะไร? สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <http://www.thailandsmartcities.com/info/smart-city-คืออะไร>
- [2] มูลนิธิพัฒนางานผู้สูงอายุ. (2558). สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทย (ด้านประชากร). สืบค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <https://fopdev.or.th/สถานการณ์ผู้สูงอายุใน/>
- [3] Kapook! HEALTH. (2553). เลือกชนิดกีฬาให้เหมาะกับวัยของคุณ. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2560, แหล่งที่มา: <https://health.kapook.com/view12335.html>
- [4] สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). ภูมิภาคอาเซียนกับการรับมือพลังงานในอนาคต. สืบค้นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 กันยายน 2560, แหล่งที่มา : <http://energy.go.th/2015/wpcontent/uploads/2016/02/volume31.pdf>

[5] จันทรชัย หลิ่งประยูรม. ปราบกฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric). สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://www.vcharkarn.com/vcafe/133225>

[6] บทที่ 9 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit). สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://navapadol.files.wordpress.com/2015/09/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b9889.pdf>

[7] ประภัสสรฯ คำวงศ์ษา. Mini project Boost converter DC - DC 9V to 40V. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://parapopsaipan.blogspot.com/2015/12/mini-project-boost-converter-dc-dc-9v.html>

[8] วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซีตระกูล 78XX และ 79XX. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1155035253.pdf>

[9] แบตเตอรี่. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2560, แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/แบตเตอรี่>

ประวัติผู้เขียน



นางสาวสุภลักษณ์ เตียวคุณูปการ
ที่อยู่ : 82/161 ม.20 ถ.ตำหรุ-บางพลี
ต.บางพลีใหญ่ อ. บางพลี จ.สมุทรปราการ
10540
เบอร์โทร : 094-249-2603
E-mail : supalak.teaw@gmail.com



นายอนุภัทร มัชฌิมา
ที่อยู่ : 278 ซอยอรุณอมรินทร์ 30 ถนนอรุณ
อมรินทร์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด
กรุงเทพฯ 10700
เบอร์โทร : 086-383-6094
E-mail : tumman666@hotmail.com



นางสาวอาทิมา ทองนำ
ที่อยู่ : 49/14 ม.4 ต.สัทธิบ อ.สัทธิบ
จ.ชลบุรี 20180
เบอร์โทร : 086-336-4878
E-mail : artima.thongnam@gmail.com



นายอิทธิพัฒน์ ธรรมชีวิน
ที่อยู่ : 1/121 หมู่บ้านอันนวิวัลล์ ถนน
กาญจนาภิเษก แขวงศาลาธรรมสพธ์
เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170
เบอร์โทร : 082-790-2203
E-mail : Pimpoy_29@hotmail.com

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุภลักษณ์ เทียวคุณุปการ
ที่อยู่ 82/161 ม.20 ถ.ตำหรุ-บางพลี ต.บางพลีใหญ่
อ. บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
เบอร์โทร 094-249-2603
E-mail supalak.teaw@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล นายอนุภัทร มัชฌิโม
ที่อยู่ 278 ซอยอรุณอมรินทร์ 30 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงบางยี่ขัน
เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700
เบอร์โทร 086-383-6094
E-mail tumman666@hotmail.com



ชื่อ-นามสกุล นางสาวอาทิมา ทองนำ
ที่อยู่ 49/14 ม.4 ต.สีตหีบ อ.สีตหีบ จ.ชลบุรี 20180
เบอร์โทร 086-336-4878
E-mail artima.thongnam@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล นายอิทธิพัฒน์ ธรรมชีวิน
ที่อยู่ 1/121 หมู่บ้านอันนีวัลล์ ถนนกาญจนาภิเษก แขวงศาลา
ธรรมสพจ์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170
เบอร์โทร 082-790-2203
E-mail Pompoj_29@hotmail.com