

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน

The Efficiency Comparison of Rectifier Circuit for Vibration Energy Harvesting

บทความวิจัย

ประสงค์ศักดิ์ สองศรี¹, กำจัด ใจตรง² และ สงกรานต์ ภารกุล³

Prasongsuk Songsree, Kumjat Jaitrong and Songkran Parakul

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10600

Program in Electrical Technology and Automatic Control System,

Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College, Thailand 10600

E-mail: Prasongsuks@siamtechno.ac.th¹ E-mail: kumjatj@siamtechno.ac.th²

and E-mail: songkranp@simatechno.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนางจรเรียงกระแสที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน โดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเพื่อนำไปใช้กับกระเปาะสายพานทางการทหาร โดยการเปรียบเทียบวงจรเรียงกระแสที่มีค่าสูญเสียแรงดันที่ต่ำ 3 วงจร คือ วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ วงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุช่วยหน่วงพลังงาน และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอคทีฟ ซึ่งวงจรเรียงกระแสที่มีการสูญเสียแรงดันน้อยที่สุดจะมีความเหมาะสมที่สุดในการใช้งานด้านการเก็บเกี่ยวพลังงานการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเพียโซอิเล็กทริกมีลักษณะพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวทำให้พลังงานที่ผลิตได้อยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นการลดการสูญเสียแรงดันที่ผลิตจากเพียโซอิเล็กทริกจึงเป็นกุญแจสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บเกี่ยวพลังงาน ในการทดลองได้เลือกวงจรเรียงกระแสที่มีค่าสูญเสียแรงดันที่ต่ำ 3 วงจรตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

วันที่รับบทความ: 1 มี.ค.65

วันที่แก้ไขบทความ: 23 มิ.ย.65

วันที่ตอบรับบทความ: 27 มิ.ย.65

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ วงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุช่วยหน่วงพลังงานและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอดทิฟ เมื่อทำการทดสอบการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนสามารถผลิตแรงดันออกมาได้ 0.72 V, 0.54 V และ 0.77 V ตามลำดับ ดังนั้น วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอดทิฟจึงมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการนำไปใช้เป็นวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน

คำสำคัญ: ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน, เพียโซอิเล็กทริก, วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอดทิฟ

Abstract

This research aims to develop a rectifier circuit most suitable for piezoelectric vibration energy harvesting in military backpack application. The three topologies of low voltage losses rectifier; full-wave bridge rectifier, capacitor-damped rectifier, and semi-active rectifier have been compared. The most suitable rectifier for this application is the circuit that lowest voltages drop. The energy produced by piezoelectric material was depended on the motion and make intermittent energy and earn low level energy. Thus, the reduction of voltage drop was the key to achieve more efficiency. On the experiment, the low loss rectifier circuit has been selected for 3 types.

The experiment results showed the three rectifier circuits at the same vibrating circumstance; bridge type, capacitor-damped type, and semi-active type can produce 0.72 V, 0.54 V, and 0.77 V

respectively. Therefore, the semi-active type achieved the highest level of efficiency for the vibration energy harvesting application.

Keywords: Vibration Energy Harvesting, Piezoelectric, Semi Active Full-wave Rectifier

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสนับสนุนเทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญ โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ซึ่งในมุมมองด้านความมั่นคงของประเทศ พลังงานถือเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของความมั่นคงทั้งในระดับบริหาร และระดับปฏิบัติการ ซึ่งเจ้าหน้าที่ความมั่นคงของประเทศ เมื่อได้รับการฝึกให้ออกปฏิบัติหน้าที่ โดยอาจเป็นการลาดตระเวน ทำการข่าว หรือสำรวจในพื้นที่ทุรกันดาร ป่า หรือภูเขา ทำให้ไม่สามารถหาแหล่งจ่ายไฟเพื่อประจุพลังงานให้อุปกรณ์ได้ ระบบสะสมพลังงานจึงมีความจำเป็นต่อการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าพนักงาน ซึ่งสัมพันธ์ต่อการขาดการติดต่อ หรือลูกล่าอาณานิคมของประเทศไทยได้ ทั้งนี้ระบบสะสมพลังงานที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะอยู่บนขีดจำกัดด้านน้ำหนัก เนื่องจากน้ำหนักที่มากจะส่งผลกระทบต่อความคล่องตัวในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้

จากงานวิจัยเชิงผลิตภัณฑ์ในต่างประเทศทั่วโลก ได้มีรายงานงานวิจัยและสิทธิบัตรเกี่ยวกับกระแสพายเพื่อใช้ในการทหารหรืองานด้านภัยพิบัติสูงถึง 5,074 ผลงานซึ่งส่วนใหญ่แล้ว จะอ้างสิทธิ์ถึงการใช้งานที่สะดวกสบายและการออกแบบตามหลักกายศาสตร์ ซึ่งสามารถถ่ายเทน้ำหนักจากแผ่นหลังไปสู่สะโพกได้ ทำให้สามารถแบกรับน้ำหนักโดยไม่เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย โดยผลงานส่วนใหญ่จะอยู่ในมุมมอง เพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวในกิจกรรมต่าง ๆ ระหว่างการปฏิบัติการกิจ

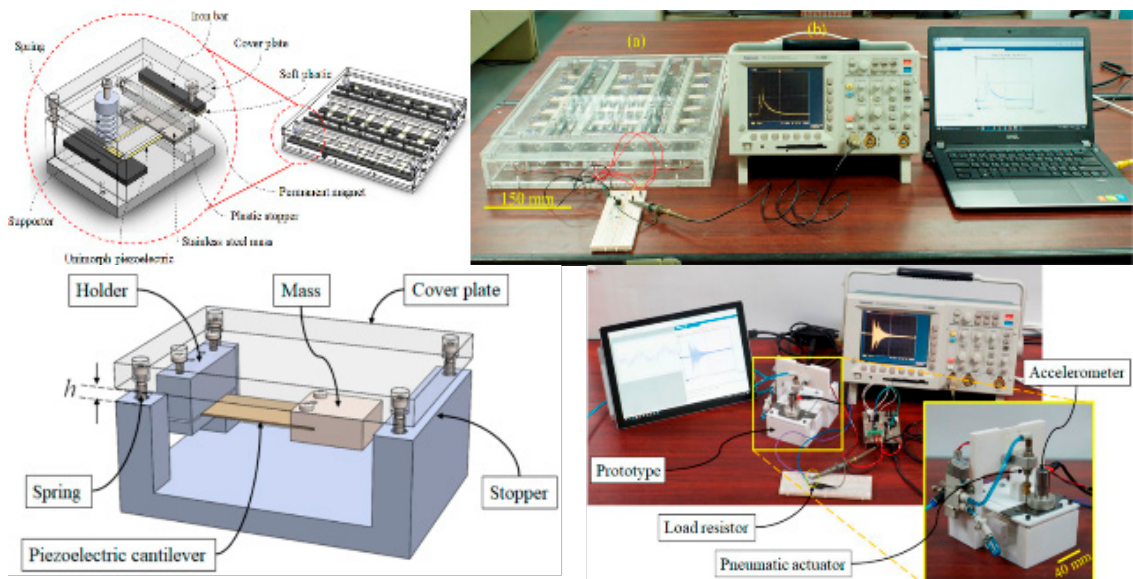
ซึ่งกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยในระหว่างการปฏิบัติงาน ได้แก่ การเดิน และการวิ่ง ตลอดจนเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางกลส่วนหนึ่งของการสั่นสะเทือนไปเป็นพลังงานเพื่อลดอาการเมื่อยล้าของช่วงไหล่ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเดินของมนุษย์จะแปรผันตรงกับการเคลื่อนที่ขึ้นและอัตราเร่งของจุดศูนย์กลางมวล โดยเมื่อทำการพิจารณาถึงความถี่การก้าวที่เสียพลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วง 2.6-2.8 Hz ซึ่งเป็นความถี่ ซึ่งมนุษย์ใช้ในการเดินเร็วหรือวิ่ง (Rome, 2006; 2008)

ดังนั้น การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวจึงเป็นทางเลือกสำคัญ เพื่อที่จะลดน้ำหนักของระบบสะสมพลังงานและสามารถผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นระหว่างปฏิบัติงาน ได้ต้นแบบกระเปาะสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานที่น่าเสนอนี้จะช่วยลดน้ำหนักของการแบกรับแบตเตอรี่สำรอง เมื่อทหารต้องออกพื้นที่ปฏิบัติการเป็นเวลานาน ด้วยน้ำหนักที่ลดลงจะทำให้ผู้ใช้งานมีความกล้าจากการแบกของหนักน้อยลง ในทางปฏิบัติทหารจะต้องเดินด้วยระยะทางไกล

ดังนั้น การเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเดินเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้น โครงการนี้จึงใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม เสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับผู้ปฏิบัติงานด้านความมั่นคง และผู้ต้องปฏิบัติงานในพื้นที่ห่างไกลจากการเข้าถึงกระแสไฟฟ้า รวมถึงเตรียมระบบเก็บเกี่ยวพลังงานและระบบกักเก็บพลังงานแบบพกพาไว้สำหรับช่วยเหลือประชาชนยามประสบภัยพิบัติ (Cavagna and Franzetti, 1986, p.235-242)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของกระเปาะสะพาย
2. เพื่อทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน พร้อมทั้งระบบการชาร์จพลังงานเข้าแบตเตอรี่ และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานสำรอง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดภาพโดยรวมของระบบ (SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB, 2022)

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยการสั่นสะเทือนทางกลเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยคุณลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยการสั่นสะเทือนที่มากจะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูง แต่เนื่องด้วยพลังงานจากการสั่นสะเทือนมีความไม่ต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์

เพื่อปรับปรุงแรงดันไฟฟ้า โดยต้องสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำได้และต้องมีการลดทอนแรงดันที่ต่ำ เพื่อให้พลังงานสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา เช่น วิทยุสื่อสาร ระบบระบุพิกัดบนพื้นโลก หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้กับงานลาดตระเวนและงานด้านความมั่นคง

Energy Harvesting Data for Middle Clamp Location						
Acceleration Amplitude (g)	Frequency (Hz)	Tip Mass (gram)	RMS Power (mW)	RMS Voltage (V)	RMS Current (mA)	Resistance (kΩ)
0.25	132.0	0.0	0.1	1.1	0.1	17.9
0.50	131.0	0.0	0.2	1.9	0.1	18.3
1.00	131.0	0.0	0.7	3.4	0.2	15.7
2.00	129.0	0.0	2.2	5.4	0.4	13.0

ภาพที่ 2 ข้อมูลเฉพาะสำหรับแผ่น Piezoelectric

ขอบเขตการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้ทีมวิจัยได้ทำการเลือกแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion Battery) เพื่อใช้ในการสำรองพลังงานไฟฟ้าและวัสดุผลิตภัณฑ์ในการจัดทำกระเป๋าสะพายให้มีความเหมาะสมสามารถรองรับระบบสะสมพลังงานและอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานได้อย่างมั่นคงและไม่ส่งผลกระทบต่อความคล่องตัวของผู้ใช้งานโดยพัฒนากระเป๋าสะพายจากโครงสร้างต้นแบบ ซึ่งมีรายละเอียดของคุณสมบัติของกระเป๋าสะพาย (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และชุกฤต คงคานนท์, 2561) ดังนี้

- ภายนอกผลิตจากผ้าไนลอน (1050D) และภายในผ้าไนลอน (210D) เคลือบกันน้ำ 2 ชั้นด้วย PU x 2
- ขนาดกระเป๋าหลัก 58.4 cm x 34.3 cm x 21.6 cm (23"H x 13.5" W x 8.5"D)

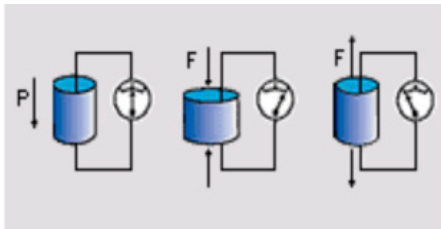
- ขนาดกระเป๋าด้านข้าง 42 cm x 15.24 cm x 4.4 cm (16.5" x 6" x 1.75")
 - ความจุของกระเป๋า 3,342 ลบ.นิ้ว หรือ 55 ลิตร
 - น้ำหนักกระเป๋าสะพาย (ไม่รวมชุดเก็บเกี่ยวพลังงาน) 2.26 kg. (5 lbs.)
 - สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 36 kg. (80 lbs.)
- ออกแบบและทดสอบวงจรเรียงกระแสที่เหมาะสมและมีการลดทอนแรงดันต่ำที่มีความเหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก และสามารถรองรับการประจุไฟฟ้าเพื่อสำรองพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

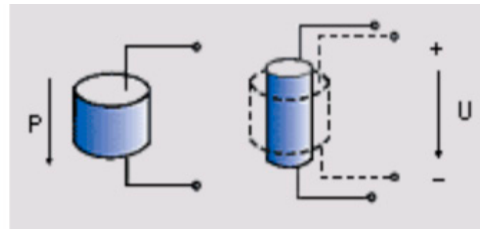
วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Material) คือ วัสดุเซรามิกที่เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึงจะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า Direct Effect

ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) หรือเมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าจะเกิดการยืดหดตัวเองได้ ขนาดของการยืดหดนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ได้รับ คือ เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เรียกว่า Converse Effect ดังแสดงในภาพที่ 3 (ข)



(ก)



(ข)

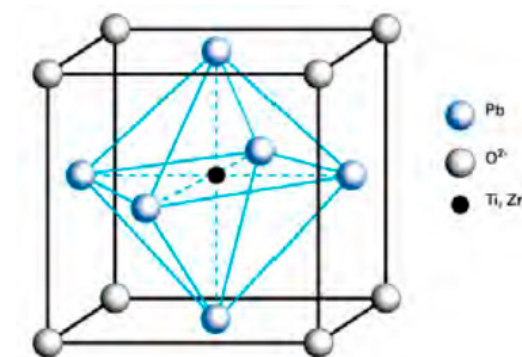
ภาพที่ 3 เพียโซอิเล็กทริก

(ก) Direct Piezoelectric

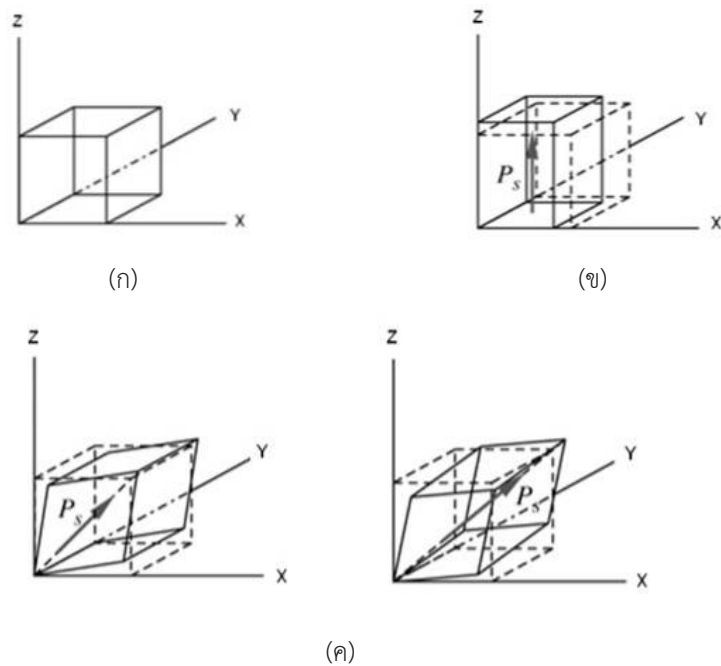
(ข) Indirect Piezoelectric

สารประกอบที่มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก เช่น Barium Titanate, Lead Titanate, Lead Zirconate Titanate, Sodium/Potassium Niobate มีโครงสร้างอยู่ในรูปของ Perovskite Structure (ABO_3) โดยมีอะตอมของ Zr^{4+} หรือ Ti^{4+} อยู่กึ่งกลางดังแสดงในภาพที่ 4 หรืออาจแสดงโครงสร้างของวัสดุดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าทำให้โครงสร้าง Cubic จะเกิด

การบิดตัว (Distort) หากได้รับกระแสไฟฟ้าในแนวแกน Z สารจะเกิดการยืดหดตัวในแนวแกน Z ทำให้โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนเป็น Orthorhombic หรือ Tetragonal ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) ถ้าหากได้รับกระแสไฟฟ้าในแนวแกน X หรือ Y จะเกิดการเอนตัวเป็นผลทำให้โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนเป็น Rhombohedral หรือ Monoclinic ดังแสดงในภาพที่ 5 (ค) (ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ, 2555)



ภาพที่ 4 โครงสร้างอะตอมของ Perovskite Structure (ABO_3)

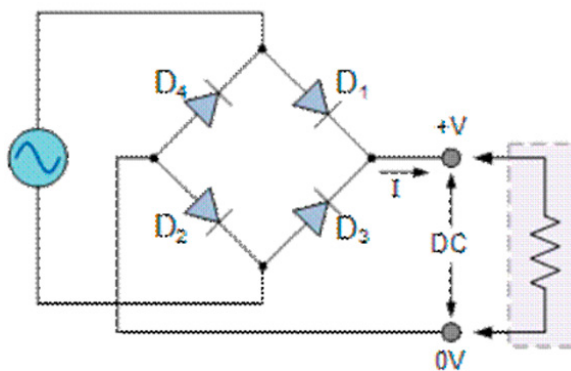


ภาพที่ 5 โครงสร้าง Cubie

- (ก) ในสภาวะปกติที่ไม่ได้รับแรงกระทำ
- (ข) เมื่อได้รับแรงกระทำ ในแนวแกน Z
- (ค) เมื่อได้รับแรงกระทำ ในแนวแกน X หรือ Y

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Full-Wave Bridge Rectifier)

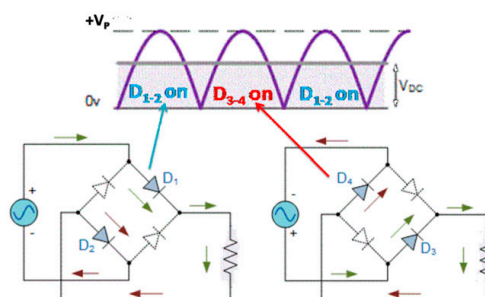
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์จะใช้ไดโอดเรียงกระแส 4 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจรเรียงกระแสบริดจ์อธิบายดังภาพที่ 7 เมื่อ D1 และ D2 นำกระแส ในช่วงครึ่งไซเคิลบวกของแรงดันอินพุตจะได้รูปคลื่นเอาต์พุต เป็นครึ่งคลื่นในส่วนที่ 1 เมื่อ D3 และ D4 นำกระแสไดโอด D1 และ D2

จะไม่นำกระแส กระแสจะไหลผ่านไปที่โหลดในทิศทางเดิม ทำให้ได้เอาต์พุตครึ่งคลื่นในช่วงที่ 2 ของไซเคิลลบ (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และชูกฤต คงคานนท์, 2561)



ภาพที่ 7 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

แบบบริดจ์

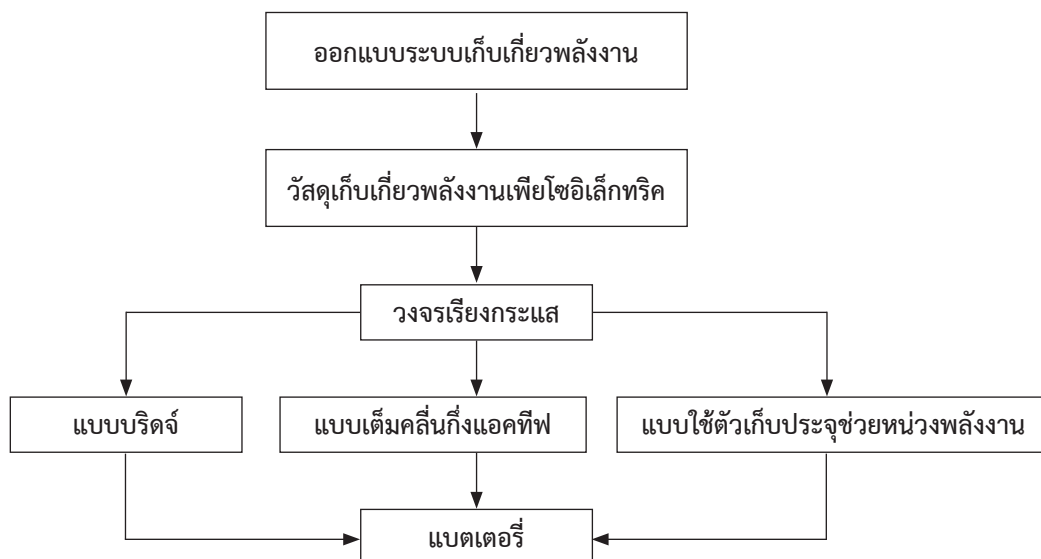
การคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นหาได้จากสมการที่ 1

$$V_{DC} = V_{AVE} = \frac{2V_p}{\pi} = 0.636V_p \quad (1)$$

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยเน้นการสร้างและทดลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการ

สั่นสะเทือน ให้กับกลุ่มทหารผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องด้านความมั่นคงภัยพิบัติและพื้นที่ห่างไกล ซึ่งวิธีการดำเนินการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 8

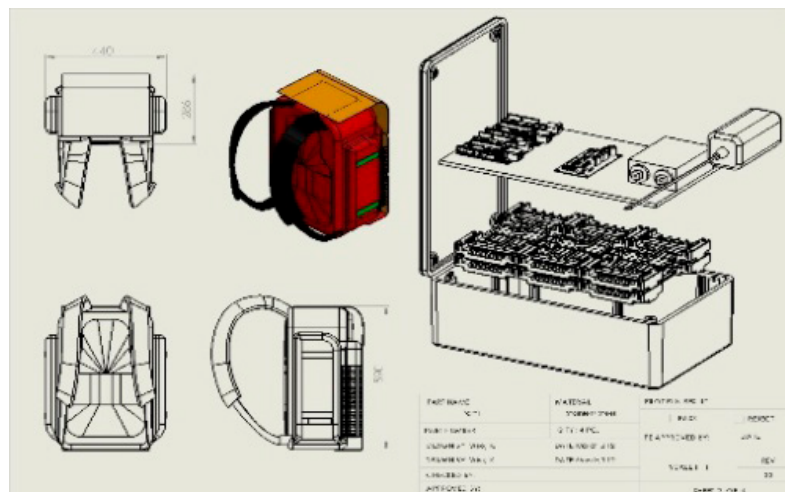


ภาพที่ 8 ขั้นตอนการสร้างระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน

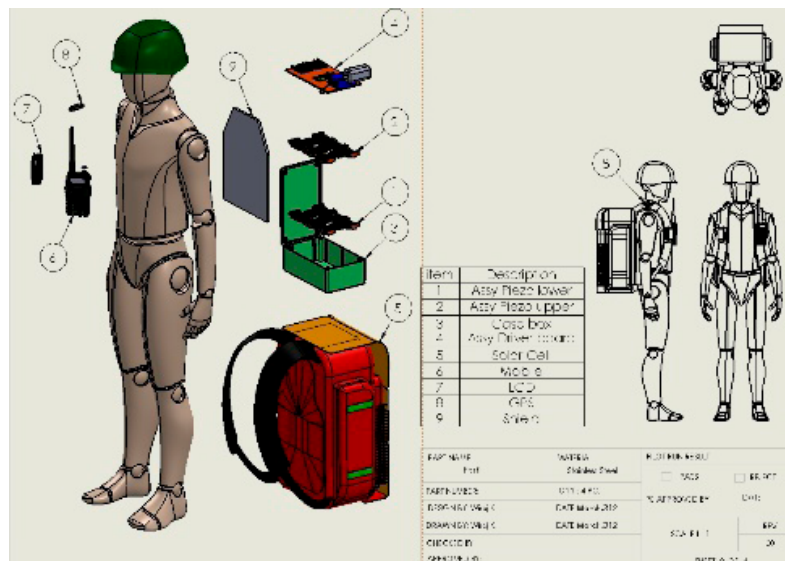
ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน

โดยกระเป๋าสะพายที่ทางทีมวิจัยได้ออกแบบขึ้นนี้มีน้ำหนัก 2.26 กิโลกรัม และเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด ได้แก่ ระบบสะสมพลังงาน ชุดเก็บเกี่ยวพลังงาน จากแสงอาทิตย์และจากการเคลื่อนไหว และระบบแสดงตำแหน่งจะมีน้ำหนักโดยรวมประมาณ 5 กิโลกรัม

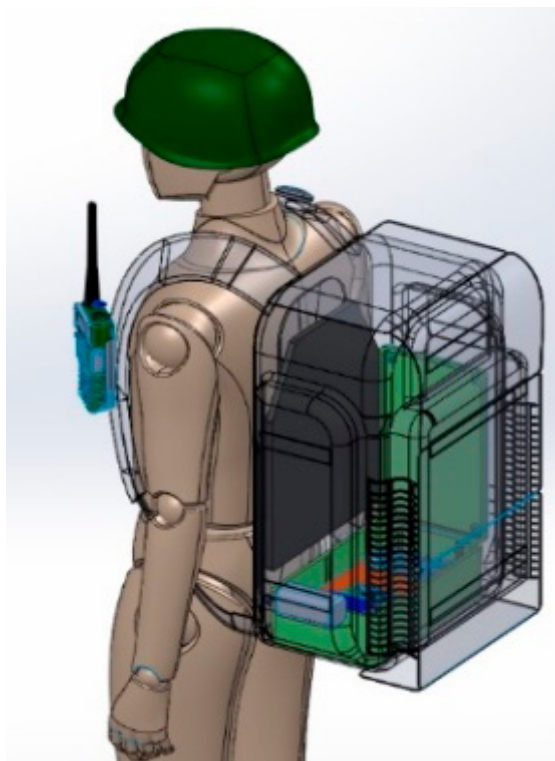
ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแบกสัมภาระได้เพิ่มเติม 7 กิโลกรัม สำหรับการติดตั้งระบบบนกระเป๋าสะพายได้เลือกให้มีการติดตั้งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานในส่วนล่างของกระเป๋าสะพาย ดังแสดงในภาพที่ 9-ภาพที่ 11 เนื่องจากการสั่นสะเทือนมากที่สุดจากการเคลื่อนไหว (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และชูกฤต คงคานนท์, 2561)



ภาพที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์บนกระเป๋าสะพายกักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 10 การติดตั้งระบบสะสมพลังงาน อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

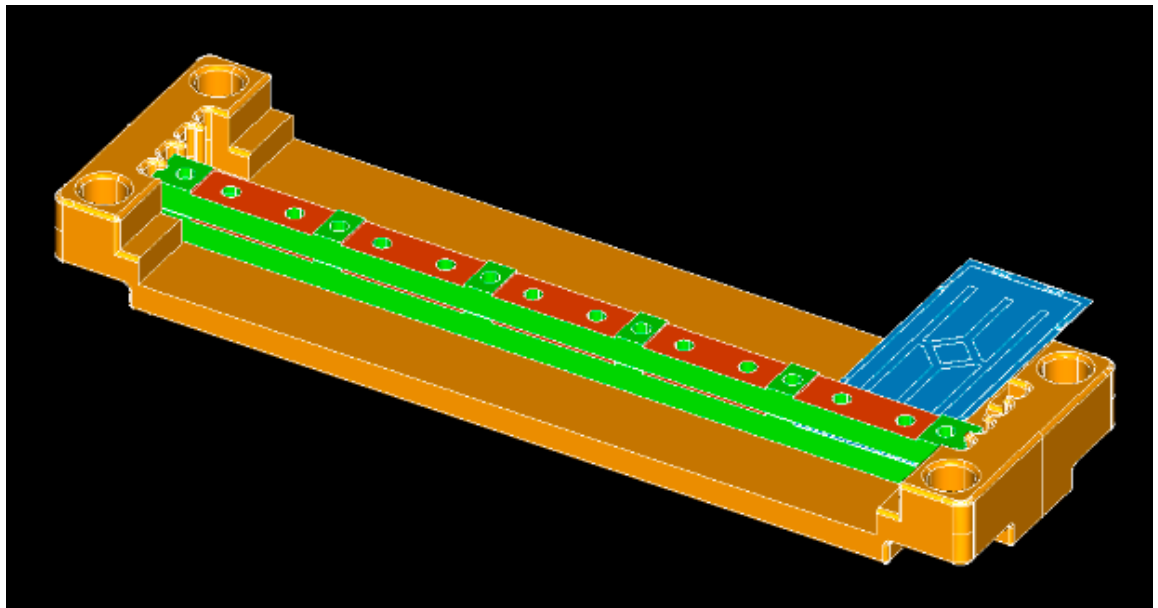


ภาพที่ 11 ตำแหน่งอุปกรณ์ภายในกระเป๋าสะพายสะสมพลังงาน

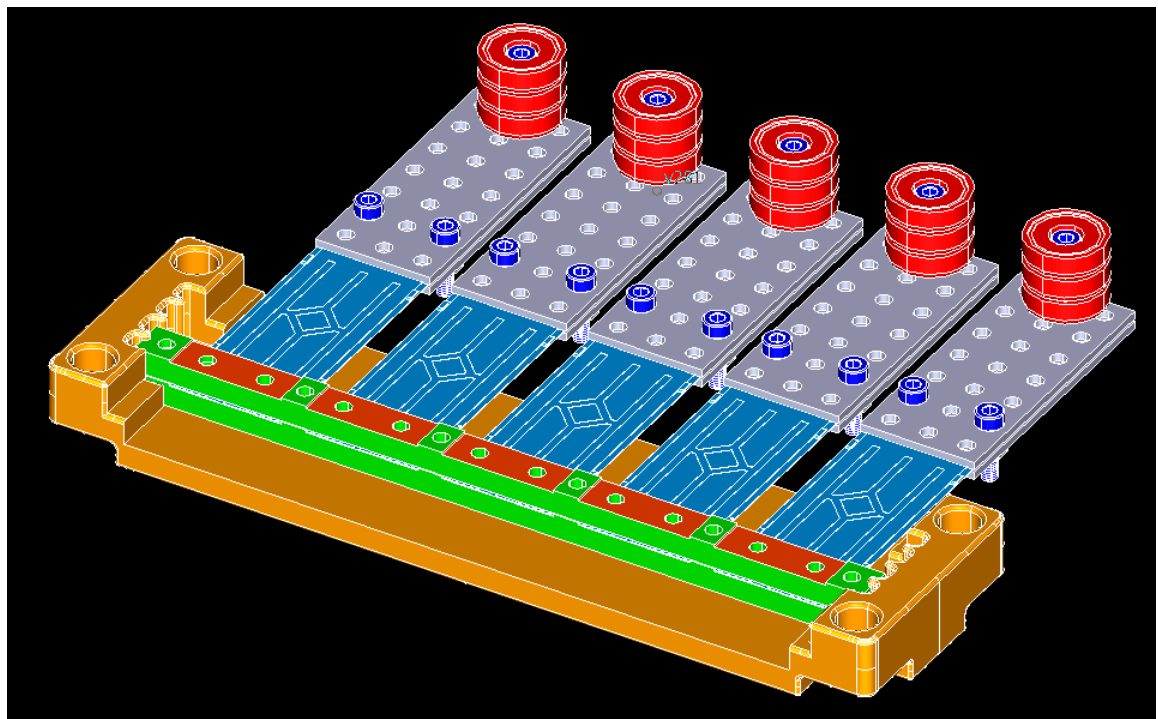
ขั้นตอนที่ 2 เลือกวัสดุเก็บเกี่ยวพลังงานเพียโซอิเล็กทริก

การออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวได้อาศัยกับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวขณะเคลื่อนที่ของมนุษย์ทั้งในขณะเดินและวิ่ง โดยในการเก็บเกี่ยวพลังงานได้เลือกใช้เพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบคานยื่น (Cantilever Beam) เพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือนตามแนวแรงที่ออกแบบได้อย่างอิสระ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ทั้งนี้ ความถี่การสั่นสะเทือน

ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่มีค่าระหว่าง 2-5 Hz ในการเคลื่อนไหวปกติ ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นต่ำกว่าค่าความถี่ธรรมชาติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังนั้นการออกแบบจะเพิ่มน้ำหนักถ่วงเพื่อลดความถี่ลงให้เหมาะสมกับการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ โดยทีมวิจัยได้ทำการออกแบบการจับยึดเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในภาพที่ 12 และเมื่อมีการจัดเรียงและถ่วงน้ำหนัก ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 13 การจัดเรียงชุดอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว

ขั้นตอนที่ 3 สร้างวงจรเรียงกระแสและเปรียบเทียบ ทั้ง 3 วงจร

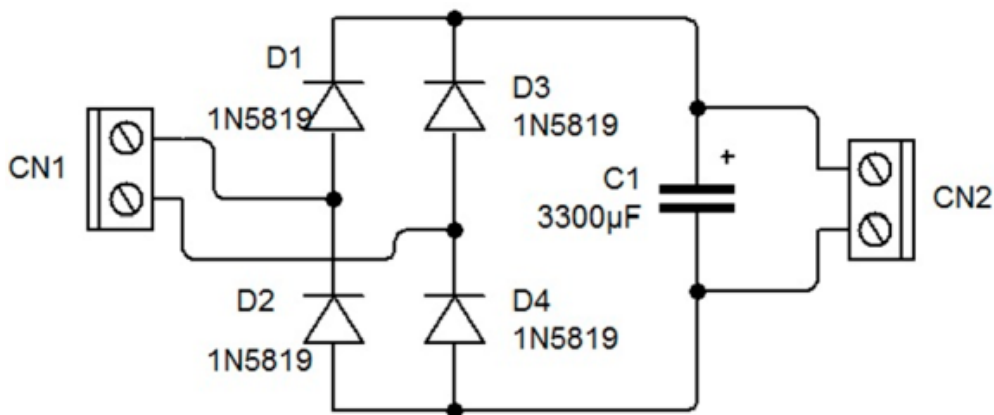
คณะวิจัยได้ทำการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานขึ้น โดยเน้นไปที่วงจรเรียงกระแสเนื่องจากเป็นส่วนแรกที่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งมีลักษณะพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวและมีแรงดันและกระแสที่อยู่ในระดับที่ต่ำได้ทำการเลือกไดโอดประเภท Schottky Diode เนื่องจากมีความต้องการแรงดันในการทำงานต่ำเพื่อลดการสูญเสียแรงดันที่ผลิตได้ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยจะเปรียบเทียบผลของวงจรเรียงกระแสทั้ง 3 วงจร

วงจรที่ 1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
(Full Wave Bridge Rectifier)

วงจรที่ 2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอคทีฟ
(Semi-active Full Wave Rectifier)

วงจรที่ 3 วงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุ
ช่วยหน่วงพลังงาน (Capacitor Full Wave Rectifier)

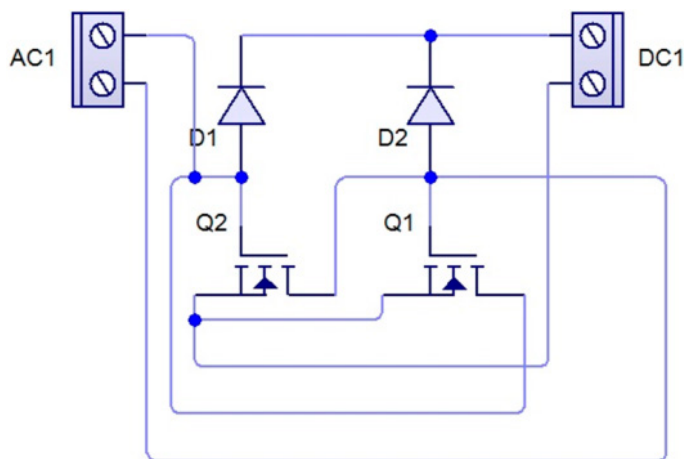
วงจรที่ 1 ใช้ไดโอดประเภท Schottky Diode ต่อวงจรบริดจ์ดังแสดงในภาพที่ 14 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะไหลผ่านไดโอดจำนวนสองตัวต่อการไหลของกระแส 1 ครั้ง ส่วนแรงดันที่ตกเนื่องจากวงจรจะอยู่ที่ 0.4V ตามคุณลักษณะของไดโอด



ภาพที่ 14 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรที่ 2 ออกแบบวงจรเรียงกระแสใหม่โดยใช้ ไดโอดเบอร์ 1N5819 จำนวน 2 ตัว และใช้มอเตอร์เบอร์ IRLB8721PBF-N จำนวน 2 ตัว เพื่อทำหน้าที่สวิตช์

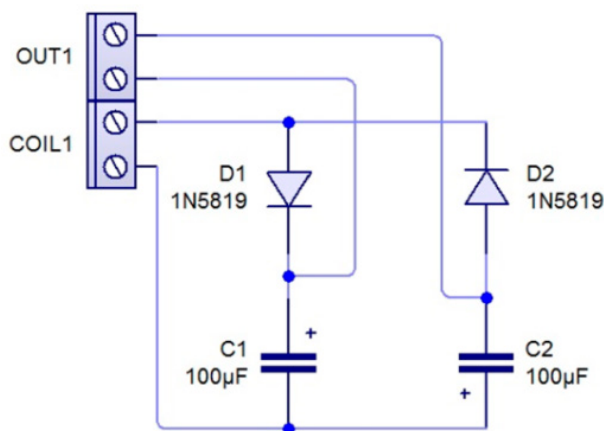
ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเพื่อเรียงกระแส ดังแสดง ในภาพที่ 15 ทั้งนี้ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะไหลผ่านไดโอด จำนวนเพียงหนึ่งตัวต่อการไหลของกระแส 1 ครั้ง



ภาพที่ 15 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอคทีฟ

วงจรที่ 3 เป็นการพัฒนางจรโดยรวมของวงจร เรียงกระแสและตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่จะใช้ เป็นส่วนสะสมพลังงานระบบย่อยเข้าด้วยกัน โดยใช้ ช่วงเวลาการคายประจุของตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยแรง

ดันและปรับกระแสสลับที่ผลิตได้เป็นกระแสตรง ดังแสดง ในภาพที่ 16 (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และ ชูกฤต คงคานนท์, 2561)



ภาพที่ 16 วงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุช่วยหน่วงพลังงาน โดยมีการเก็บผลผ่าน Data Acquisition Card รุ่น NI-USB 6009

ขั้นตอนที่ 4 ต่อวงจรเข้ากับแบตเตอรี่

จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิทยุสื่อสาร สามารถทำการออกแบบระบบสะสมพลังงานได้ โดยให้แรงดันเท่ากับ 12 VDC โดยเลือกใช้ระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนความจุ 3.45Ah เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ของวิทยุสื่อสารเดิมที่ 4Ah จะสามารถเพิ่มระยะเวลาปฏิบัติการได้เป็น 26 ชั่วโมง เมื่อทำการรอรับสัญญาณที่กำลังส่ง 2W แบตเตอรี่ที่ถูกเลือกเป็นระบบ

สะสมพลังงานจะไม่ถูกพิจารณาให้น้ำหนักที่มากจนเกินไป โดยมีน้ำหนักเพียง 250 กรัม เนื่องจากกระเปาะสะพาย จะทำการติดตั้งระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน ซึ่งจะช่วยยืดระยะเวลาในการปฏิบัติการได้มากขึ้น โดยที่มิววิจัยได้มีการออกแบบคุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดังแสดงในตาราง (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และ ชุกฤต คงคานนท์, 2561)

ตาราง คุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

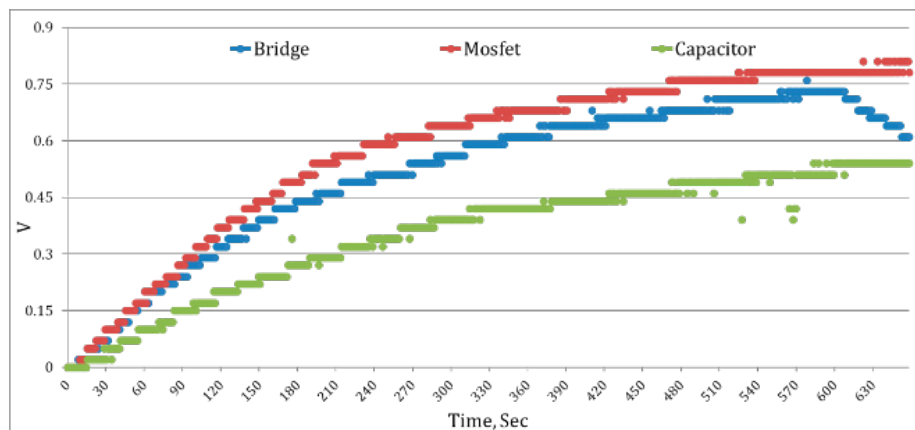
Specification	Detail
Battery Configuration	4S1P
Nominal Voltage	14.4 V
Maximum Voltage	16.8 V
Charge current	1.6 A
Continuous allowable discharge current	Limit at 5A
Operating temperature	Charge upto 45°C
	Discharge upto 60°C
Over voltage protection	4.35 V $\pm$ 0.025 V/cell
Under voltage protection	2.70 V $\pm$ 0.08 V/cell
Shortcircuit protection	Electronics protection

ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยคณะวิจัยได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ตามวัตถุประสงค์ คือ

1. คณะวิจัยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนของกระเปาะสะพายโดยทำการจำลองการเดินของมนุษย์ โดยใช้ลูกเบี้ยวจำลองการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเดิน โดยมีระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวดิ่ง

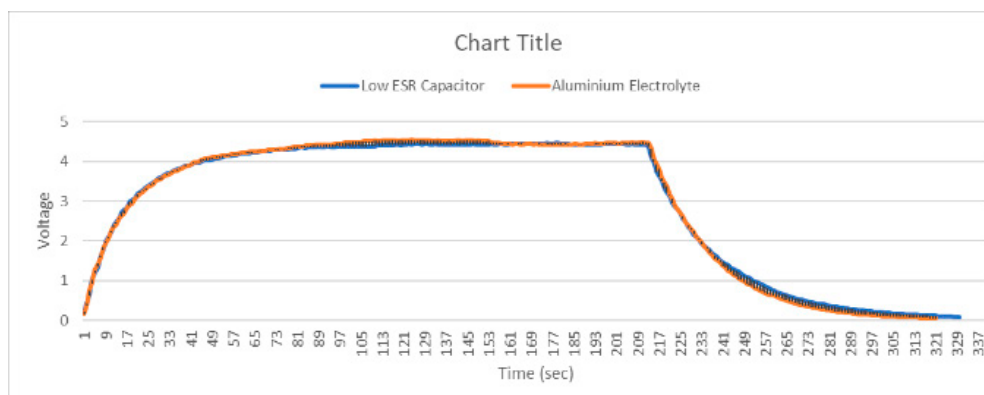
1.7 เซนติเมตร โดยมีความถี่ของการเคลื่อนที่ 1.2 Hz หรือความถี่ต่ำสุดที่เกิดจากการเดินจริง ซึ่งได้ผลดังแสดงในภาพที่ 17 ซึ่งพบว่า ความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานของวงจรเรียงกระแสแบบกึ่งแอกทีฟ หรือวงจรที่ใช้มอสเฟต จะมีความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานสูงสุด รองลงมาคือวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และลำดับสุดท้ายคือวงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุช่วยหน่วยพลังงาน



ภาพที่ 17 ผลการทดสอบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าของวงจรเรียงกระแส

ในการทดลองสืบทอดไป คณะวิจัยจึงได้เลือกใช้ วงจรเรียงกระแสแบบกึ่งแอดคทีฟ เพื่อทำการเก็บเกี่ยว พลังงาน โดยจะนำวงจรดังกล่าวต่อพ่วงอนุกรมกัน 4 ชุด เพื่อเพิ่มแรงดันและทำการทดสอบกับตัวเก็บประจุประเภท อิเล็กโทรไลต์สองประเภท ได้แก่ ประเภทอลูมิเนียม (Aluminum Electrolytic Capacitor) และประเภท ความต้านทานสมมูลต่ำ (Low Equivalent series Resistance) ซึ่งการทดลองนี้เป็นการพิจารณาทั้งในส่วน

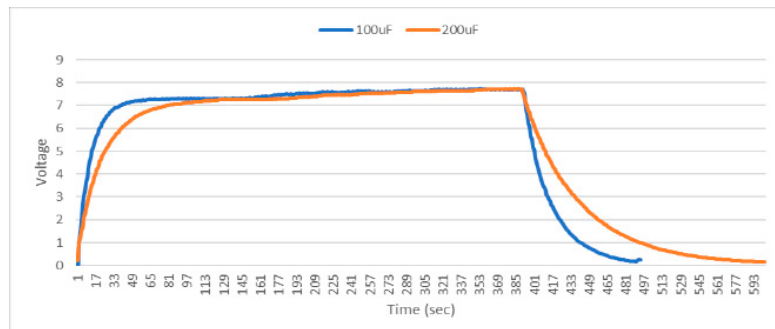
ของการอัดประจุและคายประจุ เพื่อตรวจสอบศักยภาพ และการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าในตัวเอง (Selfdischarge) ดังแสดงผลในภาพที่ 18 จะเห็นความแตกต่างกันเพียง เล็กน้อย โดยที่ตัวเก็บประจุประเภทความต้านทานสมมูลต่ำ จะมีการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า จึงมีความเหมาะสม กับการนำมาใช้ในวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว เนื่องจากต้องช่วยในการสะสมพลังงานขึ้นต้นและรักษา ระดับแรงดันให้สม่ำเสมอ



ภาพที่ 18 ผลการทดสอบศักยภาพในการเก็บสะสม

เมื่อทำการเพิ่มขนาดความจุของตัวเก็บประจุ ขึ้น 2 เท่า เป็น 200 μF เพื่อศึกษาความสามารถในการ

เก็บเกี่ยวพลังงานและความเร็วในการตอบสนอง สามารถ แสดงความสัมพันธ์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 19

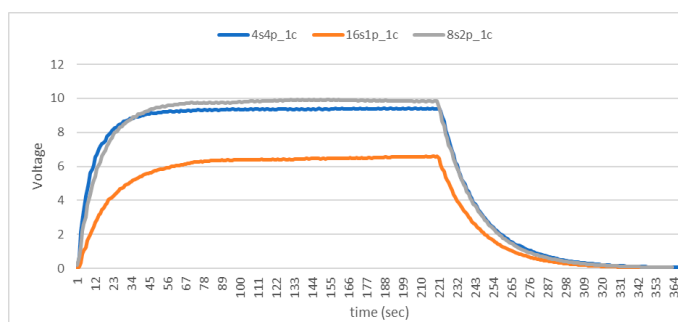


ภาพที่ 19 ผลการทดสอบการตอบสนองต่อความจุของตัวเก็บประจุ

จะเห็นว่า ค่าความจุของตัวเก็บประจุไม่ส่งผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยการตอบสนองของความจุที่ 100uF มีการตอบสนองที่ไวกว่า แต่จะส่งผลต่อการรักษาระดับแรงดันเช่นกัน เมื่อพิจารณาผลในเชิงของเวลาตัวเก็บประจุที่ความจุ 100uF สามารถตอบสนองที่แรงดันไฟฟ้า 5V ได้โดยใช้ระยะเวลาเพียง 12 วินาที จึงมีความเหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวพลังงานมากกว่า

2. คณะวิจัยได้ทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน พร้อมทั้งระบบการชาร์จพลังงานเข้าแบตเตอรี่ และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานสำรองโดยเมื่อทำการทดสอบกับระบบโดยรวม เพื่อทำการพิจารณารูปแบบการต่อของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยทำการต่อแยกชุดทั้งการต่ออนุกรม

ขนาน และผสม เพื่อหาผลการเก็บเกี่ยวพลังงานและศึกษาพฤติกรรมในเชิงไฟฟ้าสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 20 ซึ่งทำการเปรียบเทียบการต่อวงจรกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งหมด 16 แผ่น โดยต่อแบบอนุกรม 4 แผ่น ขนานกัน 4 ชุด (4s4p), แบบอนุกรม 16 แผ่น ขนานกัน 1 ชุด (16s1p), แบบอนุกรม 8 แผ่น ขนานกัน 2 ชุด (8s2p) ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้จากการต่อแบบผสม โดยต่อแบบอนุกรม 8 แผ่น ขนานกัน 2 ชุด (8s2p) จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด และให้แรงดันมากกว่าการต่อแบบ 16s1p ซึ่งมีการตอบสนองที่เร็ว แต่ให้แรงดันพิกัดที่ต่ำกว่า เนื่องจากแรงดันที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการกระตุ้นมอสเฟตและเกิดการไหลกลับของกระแสไฟฟ้าบางส่วน



ภาพที่ 20 ผลการทดสอบการตอบสนองเพื่อทำการต่อวงจรแบบผสม

จากผลการทดลองในครั้งนี้ มีการเปรียบเทียบกับทฤษฎีของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศ สหรัฐอเมริกา พบว่า วัสดุเพียโซอิเล็กทริกยังถูกนำไปวิจัยเพื่อการเก็บ

กักพลังงาน คล้ายการทำงานของ แบตเตอรี่ นำเสนอแนวคิดการใส่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกลงในสำรองเข้าอีกด้วย (คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ, 2555)

สรุปผลและอภิปรายผล

จากผลการทดลองวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวทำให้พลังงานที่ผลิตได้อยู่ในระดับต่ำ จากการวิจัยครั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียแรงดันที่ผลิตจากเพียโซอิเล็กทริก คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองวงจรเรียงกระแสที่มีค่าสูญเสียแรงดันที่ต่ำ 3 วงจรนี้โดยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ สามารถผลิตแรงดันออกมาได้ 0.72 V วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอกทิฟ สามารถผลิตแรงดันออกมาได้ 0.77 V และวงจรเรียงกระแสแบบใช้ตัวเก็บประจุช่วยหน่วยพลังงานสามารถผลิตแรงดันออกมาได้ 0.54 V ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นกึ่งแอกทิฟมีความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานสูงสุด ในการเก็บเกี่ยวพลังงาน จะใช้วงจรดังกล่าวต่ออนุกรมกัน 4 ชุด เพื่อเพิ่มแรงดันและทำการทดสอบกับตัวเก็บประจุประเภทอิเล็กโทรไลต์เพื่อรักษาแรงดันให้คงที่ โดยตัวเก็บประจุขนาด 100 μF ให้ผลตอบสนองที่ดี ส่วนผลการทดสอบพบว่า การเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกที่ต่อแบบผสม โดยต่อแบบอนุกรม 8 แผ่น ขนานกัน 2 ชุด (8s2p) จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด จากข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้เป็นวงจรต้นแบบในการสร้างกระเปาะสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับทหารบก เพื่อใช้ในงานด้านความมั่นคงภัยพิบัติ และพื้นที่ห่างไกล

กระเปาะสะพายสำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบใน 2 รูปแบบ ได้แก่ กระเปาะสะพายเพื่อใช้ในงานความมั่นคงและกระเปาะสะพายเพื่อองภัยพิบัติ ซึ่งกระเปาะสะพายทั้งสองรูปแบบ จะมุ่งเน้นไปที่ระบบสะสมพลังงานและระบบเก็บเกี่ยวพลังงานภายใน ตลอดจนการสวมใส่ในการปฏิบัติหน้าที่อย่างสะดวกสบาย ดังนั้น การออกแบบจึงอ้างอิงจากการยศาสตร์(Ergonomic)เพื่อให้มีการถ่ายเทน้ำหนักลงแผ่นหลังอย่างเหมาะสม ซึ่งการออกแบบนี้จะอ้างอิงกับผู้ชายไทยความสูงในช่วง 165-185 เซนติเมตร

ซึ่งจะมีพื้นที่แผ่นหลังไม่เกิน 30x45 เซนติเมตร ดังนั้นการออกแบบกระเปาะสะพายจะเน้นให้น้ำหนักบรรจุอยู่ใกล้แผ่นหลังมากที่สุดและถ่ายเทน้ำหนักลงสู่สะโพก โดยกระเปาะสะพายเพื่องานด้านความมั่นคงรูปแบบกระเปาะจะถูกออกแบบขึ้นเพื่อรองรับน้ำหนักของยุทธโปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งวิทยุสื่อสาร ระบบสะสมพลังงานและเก็บเกี่ยวพลังงาน และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และชูกฤต คงคานนท์, 2561)

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือนในครั้งนี้ ควรเพิ่มชุดจากเพียโซอิเล็กทริกให้จำนวนมากขึ้นโดยติดตั้งส่วนถ่วงน้ำหนักให้สามารถผลิตพลังงานให้ได้หลากหลายความถี่มากขึ้น

ในส่วนของวงจรเรียงกระแสอาจมีการปรับปรุงโดยใช้ไอเล็กทรอนิกส์ประเภทความเสียหายต่ำ เพื่อลดความเสียหายโดยรวมและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บเกี่ยวพลังงานโดยกระเปาะสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปใช้งานในด้านความมั่นคงและงานช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติในพื้นที่ห่างไกล ทั้งนี้ กระเปาะสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานดังกล่าวจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี และช่วยเพิ่มระยะเวลาในการปฏิบัติหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละพื้นที่ได้ยาวนานขึ้น และที่สำคัญยังเป็นการลดภาระการแบกรับน้ำหนักของแบตเตอรี่สำรองของเจ้าหน้าที่ซึ่งต้องบรรทุกไปด้วยขณะปฏิบัติหน้าที่ในแต่ละพื้นที่ ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอกเนื่องจากสามารถผลิตไฟฟ้าได้เองในขณะปฏิบัติหน้าที่ ดังนั้น จึงเท่ากับว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่รอบ ๆ ตัว ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- ฐกฤต ปานชลธิ, จุไรรัตน์ ดวงเดือน และชุกฤต อดิเรก (2561). กระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อใช้ในการงานด้านความมั่นคงภัยพิบัติและพื้นที่ห่างไกล. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*. 27-34.
- คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. (2555). *วัสดุเพียโซอิเล็กทริก*. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <https://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2555-pieso.pdf>
- Cavagna, G.A. and Franzetti, P. (1986). The determinants of the step frequency in walking in humans. *The Journal of physiology*, 373(1), 235-242.
- Rome, L.C. (2006). *Backpack for harvesting electrical energy during walking and for minimizing shoulder strain*. United States, Lightning Packs, LLC (Strafford, PA, US) No.6982497.
- Rome, L.C. (2008). *Backpack for harvesting electrical energy during walking and for minimizing shoulder strain*. United States, Lightning Packs LLC (Strafford, PA, US) No.7391123.
- SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL. (2022). โครงการพัฒนาพื้นที่กำเนิดพลังงานเพียโซอิเล็กทริก. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2565, จาก slri.or.th/bl6a/proiect/53-โครงการพัฒนาพื้นที่กำเนิดพลังงานเพียโซอิเล็กทริก.html