

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อชุดโครงการ การสร้างพลังงานสะอาดรูปแบบใหม่และการจัดการพลังงานสำหรับการทำงานด้วยตัวเอง
ของอุปกรณ์พกพาและเครือข่ายไร้สาย

[Generation of novel clean energy and energy management for self-powered portable
devices and wireless networks]

คณะนักวิจัยหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานูจน์ มุรคิต

รองศาสตราจารย์ ดร. พุกถิกร สมิตโมตรี

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2559 รหัสโครงการ SC1580050M

ส่วนที่ 2 รายละเอียดส่วนของเนื้อหา

1.ชื่อชุดโครงการวิจัย

[ภาษาไทย] การสร้างพลังงานสะอาดรูปแบบใหม่และการจัดการพลังงานสำหรับการทำงานด้วยตัวเองของอุปกรณ์พกพาและเครือข่ายไร้สาย

[ภาษาอังกฤษ] Generation of novel clean energy and energy management for self-powered portable devices and wireless networks

รหัสโครงการวิจัย SCI580050M

2.ชื่อโครงการวิจัยย่อย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1

[ภาษาไทย] เรื่องการสร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใหม่

[ภาษาอังกฤษ] Prototyping of Novel Kinetic Energy Harvester

รหัสโครงการวิจัย SCI580050a

โครงการวิจัยย่อยที่ 2

[ภาษาไทย] การจัดการพลังงานให้เซนเซอร์โหนดในเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า

[ภาษาอังกฤษ] Energy management for powering sensor nodes in wireless network consuming kinetic-to-electrical energy conversion

รหัสโครงการวิจัย SCI580050b

3.คณะนักวิจัย

หัวหน้าชุดโครงการคือ รองศาสตราจารย์ ดร.นันทกานต์ มุรคิต

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โทรศัพท์ 074 288727 E-mail nantakan.m@psu.ac.th

คณะผู้วิจัยโครงการย่อยที่ 1

1.1 รองศาสตราจารย์ ดร. พงุทธร สมิติไมตรี หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (เมคคาทรอนิกส์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล spruitti@me.psu.ac.th

1.2 รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานตญาณ์ มุรคิต

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล nantakan.m@psu.ac.th

1.3 นายกฤษ โทยวานิชย์

บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะผู้วิจัยโครงการย่อยที่ 2

2.1 รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานตญาณ์ มุรคิต หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล nantakan.m@psu.ac.th

2.2 นายภาณุ ไทยนิรมิต

บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.3 พศ.ดร.วรรณรัช สันตอมรภัต ที่ปรึกษาโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

4.บทนำ

ในการสร้างความมั่นคงทางพลังงาน การมีการค้นคว้าเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ช่วยคลี่คลายสถานการณ์ขาดแคลนพลังงานโดยเฉพาะน้ำมัน การเพิ่มขีดความสามารถการสร้างพลังงานทดแทน นอกเหนือจากพลังงานแบบดั้งเดิม เช่น เชื้อเพลิงถ่านหิน ไซลาเซล ไบโอดีเซล เป็นต้น พลังงานรูปแบบใหม่ๆ ที่ยังไม่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในประเทศไทยคือเทคโนโลยีเกี่ยวกับพลังงานกลหรือพลังงานจลน์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าระดับที่เพียงพอต่อการป้อนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก สำหรับพลังงานน้ำที่ไม่เกี่ยวข้องกับไฮดรอปาวเวอร์ในขนาดใหญ่แต่ใช้วัสดุไฟอิชอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่พบรายงานที่ใด จึงนำมาเป็นประเด็นของโครงการวิจัยย่อยเรื่องที่ 1 เรื่องการสร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใหม่ นอกจากนั้น เครื่องข่ายรับส่งข้อมูลที่ใช้พลังงานต่ำขับเคลื่อนด้วยพลังงานจลน์โดยรอบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานยังมีการวิจัยเป็นรูปธรรมในประเทศไทยน้อยมากจึงนำมาเป็นประเด็นของโครงการวิจัยย่อยเรื่องที่ 2 เรื่องการจัดการพลังงานให้เซนเซอร์ในเครื่องข่ายไร้สายโดยอาศัยการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า

5. วัตถุประสงค์

1. สร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานน้ำรูปแบบใหม่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจากการไหลของน้ำโดยใช้หลักการไพโซอิเล็กทริก
2. จัดการพลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาดให้อุปกรณ์และเครือข่ายไร้สายทำงานโดยอาศัยแหล่งกำเนิดพลังงานลมในสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลการทดลอง

ในชุดโครงการวิจัยมีตัวเก็บเกี่ยวพลังงานที่สามารถดักจับพลังงานกลจากการไหลของของไหลซึ่งในที่เริ่มต้นด้วยการไหลของน้ำและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริกแบบตรง (direct effect) เทคนิควิธีที่ใช้ในโครงการนี้อาศัยทดสอบกับของไหลมีทั้งแบบ turbulence และ lamellar [Batchelor, G. K., 2000] โดยที่ Laminar flow: เป็นการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อแต่ละอนุภาคของของไหลมีการเคลื่อนตัวแบบเป็นระเบียบ ผลของการไหลแบบนี้จะทำให้ความเร็วของไหลมีค่าคงตัวที่ทุกจุดของการไหล ในขณะที่ Turbulent flow: เป็นการไหลแบบไม่ปกติที่มีลักษณะมีน้ำวนขนาดเล็กเกิดขึ้นในบริเวณการไหล ความเร็วของไหลมีค่าไม่สม่ำเสมอที่ทุกจุดของของไหล พบว่า lamellar flow มีผลศาสตร์ที่ดีกว่าสำหรับวัสดุที่ใช้เป็นครั้งแรกในโครงการเป็นโพสิเมอร์ไพโซอิเล็กทริกซึ่งเหมาะกับการใช้งานเมื่อพลังงานกลมีความถี่ต่ำ (<10Hz) หรือมีแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากเนื่องจากโพสิเมอร์สามารถยึดตัวได้ ต่อมาจึงใช้เซรามิก PZT-5 [shindo, Y., et al., 2014] เพื่อเพิ่มความทนทานและพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้ ในที่นี้ใช้ลักษณะของคานสั่นไพโซอิเล็กทริก ในทางปฏิบัติต้องติดตั้งตัวแปลงสัญญาณเข้ากับตัวแปลงพลังงานปรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ให้ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยโหนดที่ออกแบบมาให้ทำงานที่สัญญาณ DC หากพลังงานที่ใช้ในวงจรมีค่าผิดไปจากค่าที่ระบุไว้จะไม่สามารถทำงานได้หรือก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับวงจร และปรับระดับของแรงดันให้เหมาะสมกับโหนดที่ใช้ ในงานวิจัยนี้ใช้โหนด 1 Mohm ซึ่งใกล้เคียงกับความต้านทานเซนเซอร์ไร้สายทั่วไป output voltage 1 V และประสิทธิภาพทำงานร้อยละ 4.4 ได้รับการตอบรับตีพิมพ์ใน **Adv.Mater. Lett. 2015, 6(6), 538-543** จากนั้นพัฒนาต่อยอดให้ใช้กับพลังงานลมได้เช่นกันทั้งนี้ลมเป็นของไหลที่แหล่งกำเนิดพลังงานไม่มีวันหมด

ในชุดโครงการมีระบบการจัดการเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบโดยอาศัยสอการ
ทีมที่ทำให้ได้กำลังงานเอาต์พุตระดับมิลลิวัตต์ซึ่งพอเพียงสำหรับป้อนเครือข่ายไร้สายที่ใช้งานได้จริง ระบบ
การจัดการที่ได้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับเพาเวอร์แบงค์แบบพกพา ประกอบด้วยมีมکانต์ลีวอร์ที่ปลายด้าน
หนึ่งยึดติดผนังแข็งปลายอีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ ใช้วัสดุเซรามิกโพธิโซอิเล็กทริก PZT ประเภทเซรามิกทั้ง
ด้านบนและด้านล่างมีม มีความถี่ทำงานอยู่ในระหว่าง 16-18 Hz ที่การกระตุ้นของปลายคาน 3 cm ได้
แรงดันไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 29 V นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงเป็น
กระแสไฟฟ้าตรง แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานเปลี่ยนค่าได้ในช่วง 10k-10MΩ กำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่า
400-500 μ W หรือ 0.5 mW นำไปสู่นุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1403000772 เรื่อง ระบบการจัด
การพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโพธิโซอิเล็กทริก สำหรับอัดประจุให้
แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปใช้งานโทรศัพท์มือถือได้นาน
2-3 นาที เหมาะสมสำหรับใช้งานยามฉุกเฉิน และพัฒนาระบบให้ใช้กับเครือข่ายไร้สายแบบดาว หรือ
star topology ทำหน้าที่เป็น power bank ที่ใช้ประโยชน์แหล่งกำเนิดพลังงานจลน์ของน้ำรอบๆ power
bank มาแปลงเป็นไฟฟ้าป้อนไมโครคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูล พบว่าสามารถรับส่งสัญญาณค่าออกซิเจน
และเปิดปิดกั้นในในช่วงความถี่วิทยุได้

7. เอกสารอ้างอิง/บรรณานุกรมหลัก

Amirtharajah, R., 1999. Design of Low Power VLSI Systems Powered by Ambient Mechanical
Vibration, in Department of Electrical Engineering. Massachusetts Institute of
Technology.

Batchelor, G. K., 2000. *An Introduction to Fluid Dynamics*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University
Press, *Cambridge Books Online*. Web. 02 July 2016.

<http://dx.doi.org/10.1017/CB09780511800955>

Ngo, K., Phipps, A., Lin, J., Nishida, T., Xu, S., 2006. "Power Converters for Piezoelectric Energy
Extraction," in ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition,
Chicago, 2006.

Shindo, Y., Narita, F. 2014. Dynamic bending/torsion and output power of s-shaped piezoelectric energy harvesters. *Int. J. Mech. Mater. Des.*, 10, 305–311.

Guyomar, D. and Lallart, M. [2011] Recent progress in piezoelectric conversion and energy harvesting using nonlinear electronic interfaces and issues in small scale implementation, *micromachines*. 2[2], 274-294

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ เรื่องการสร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใหม่
[Prototyping of Novel Kinetic Energy Harvester]

คณะนักวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.พฤกธกร สมิตโมตรี
รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานูจน์ มุรสิต
นายกฤษ โทยวานิชย์

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2559 รหัสโครงการ sc1580050a

ส่วนที่ 2 รายละเอียดส่วนของเนื้อหา

1.ชื่อชุดโครงการวิจัย

[ภาษาไทย] การสร้างพลังงานสะอาดรูปแบบใหม่และการจัดการพลังงานสำหรับการทำงานด้วยตัวเองของอุปกรณ์พกพาและเครือข่ายไร้สาย

[ภาษาอังกฤษ] Generation of novel clean energy and energy management for self-powered portable devices and wireless networks

รหัสโครงการวิจัย sci580050m

2.ชื่อโครงการวิจัยย่อย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1

[ภาษาไทย] เรื่องการสร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใหม่

[ภาษาอังกฤษ] Prototyping of Novel Kinetic Energy Harvester

รหัสโครงการวิจัย sci580050a

3.คณะนักวิจัย

คณะผู้วิจัยโครงการย่อยที่ 1

1.1 รองศาสตราจารย์ ดร. พฤทธิกร สมิตไมตรี หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (เมคคาทรอนิกส์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล spruitti@me.psu.ac.th

1.2 รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานัจจน์ มุรคิต

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล nantakan.m@psu.ac.th

1.3 นายกฤษ โทยวานิชย์

บัณฑิตศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูป	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
วิธีการทดลอง	3
ผลการทดลองและวิจารณ์	6
สรุปผลการทดลอง	7
เอกสารอ้างอิง/บรรณานุกรม	7
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	8
ภาคผนวก	8

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 แผนภาพการวิจัยการเก็บเกี่ยวพลังงานจากของไหล.....	2
รูปที่ 2 ต้นแบบเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ที่มาจากของไหล	5
รูปที่ 3 แหล่งพลังงานน้ำจำลอง	5
รูปที่ 4 ชุดทดสอบการสั่นความถี่ต่างๆของวัสดุไพโซโซอิเล็คทริก	5
รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าของฟิล์ม PVDF ที่ได้รับกระแสที่อุณหภูมิแวดล้อมต่างๆ	6

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยภายใต้งบประมาณสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เรื่องการสร้างต้นแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์แบบใหม่นั้น คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นอย่างสูง คณะผู้วิจัยยินดีเป็นอย่างยิ่งถ้าหากโครงการนี้ได้รับการต่อยอดพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมนำไปสู่เชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์และบุคคลากรในสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในรูปแบบต่างๆมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงการนี้ริเริ่มงานด้านตัวเก็บเกี่ยวพลังงานที่สามารถดักจับพลังงานกลจากการไหลของน้ำและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริก ใช้ฟิล์มไพโซอิเล็กทริกที่ดัดงอไปมาได้ทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับแปลงพลังงานดังกล่าว สามารถสร้างพลังงานจลน์ระดับ 44 ไมโครวัตต์ได้จากการไหลกระเพื่อมๆของน้ำได้ ทั้งนี้โดยการทำให้เกิดวอร์เทกซ์หรือกระแสไหลวนรอบๆทรานสดิวเซอร์นั้น ความเร็วของการไหลเพียง 6.8 เมตรต่อวินาที ความถี่ตกกระทบฟิล์มต่ำระดับ 0.4 เฮิรตซ์ เมื่อมีไหลภายนอก 1 เมกะโหล่มจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าในวงจร 0.18 ไมโครวัตต์ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานร้อยละ 4.4 การใช้ประโยชน์ต้นแบบทำได้โดยวางในทางน้ำที่มีความแตกต่างของระดับการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงหรือวางในท่อสำเสียงซึ่งจะนำพลังงานศักย์เอาต์พุทไปใช้ในงานสื่อสารไร้สายแจ้งดาต้าระดับความลึกของระดับน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามนักวิจัยยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้ต้นแบบมีประสิทธิภาพแปลงพลังงานจลน์ของของไหลสูงขึ้น

Abstract

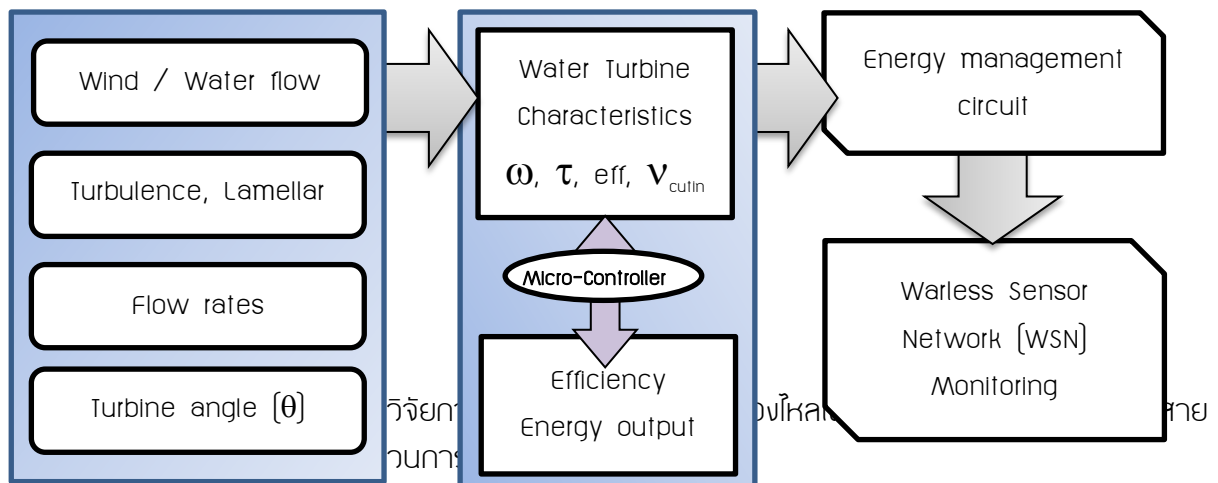
This work proposes an energy harvester that captures the mechanical energy caused by water flow and converts into an electrical energy through the piezoelectric effect. A flexible piezo-film has been used as a transducer in the energy harvesting system and the kinetic energy of the water flow is produced by using the vortex induced vibration technique. When placing in water way the transducer is fluctuating in the vortex of the fluid flow, producing the kinetic energy of 44 microwatt at a low fluid velocity of 6.8 m/s and low frequency of 0.4 Hz. This configuration generates a corresponding open-circuit voltage of 6.6 mV at a matching load of 1 M Ω , leading to the maximum output power of 0.18 microwatt. An efficiency power conversion of the harvesting system was evaluated to be about 4.4 %. It is possible to use the proposed unit under gravitational force where there is a difference in the levels of the fluid no matter in water way or transporting parts such as pipes. Converting the output voltage generated by the present prototype to feed small scale electronics and communicate, i.e., water dept. However, the researchers are still developing the prototype to possess higher efficiency in energy conversion.

บทนำ

แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ประโยชน์มักเป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ เช่น ฝาย เขื่อนเก็บกักน้ำ กังหันลมขนาดใหญ่ ตลอดจนพลังงานแสงแดดซึ่งผ่านการแปลงพลังงานด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ในโครงการนี้เน้นแหล่งพลังงานจลน์ของไหลซึ่งหมายความรวมถึงกระแสน้ำและกระแสลม ที่ความเร็วการไหลต่างๆในธรรมชาติที่มักถูกมองข้ามและยากที่จะนำมาปรับใช้ได้ ในที่นี้หลักการทางฟิสิกส์อเล็กทริกเป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาใช้หมายถึงการกระทำทางกลต่อวัสดุบางชนิดก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าในวัสดุนั้น เมื่อจัดให้วัสดุนั้นต่อกับโพลีเมอร์นอกก็จะทำให้วงจรไฟฟ้าครบวงจรจะเกิดความต่างศักย์ตกคร่อมโพลีเมอร์ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าค่าหนึ่งแปรผันกับโพลีเมอร์นั้น โพลีเมอร์นี้อาจเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ เช่น เซนเซอร์ไร้สายไมโคร คอนโทรลเลอร์ที่มีคำสั่งควบคุมให้ทำงานระยะไกล โมดูลสำเร็จรูปกินไฟระดับไมโครวัตต์ลงไปถึงนาโนวัตต์ เป็นต้น การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการไหลในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาต้นแบบให้ทำงานได้แม้ระดับพลังงานจากของไหลเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังมีการออกแบบไบโพิดสามารถถอดประกอบและเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ เพื่อให้เหมาะสมการใช้งานในการเก็บเกี่ยวกระแสหรือแรงแสมได้แล้วแต่สถานการณ์

การนำพลังงานของไหลคือ น้ำ และลมมาใช้เป็นพลังงานตั้งต้นนั้นขึ้นกับความหนาแน่นและอัตราการไหลของของไหล แนวการเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งการเหนี่ยวนำของไหลให้เกิดการสั่นและใช้อุปกรณ์ในการเก็บเกี่ยวพลังงานการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่ใช้จะต้องมีการทำงานที่เหมาะสมกับพลังงานของไหลที่ใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการแปลงและพลังงานที่รับสูงสุด การเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์ฟิสิกส์อเล็กทริกจำเป็นต้องใช้การจัดการพลังงานด้วยวงจรที่เหมาะสมและสอดคล้องกับอุปกรณ์โพลีเมอร์ที่ใช้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาพบว่ากังหันไบโพิดเก็บเกี่ยวพลังงานมีความสามารถในการทำงานในช่วงอัตราการไหลเฉพาะค่าหนึ่ง โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ในช่วงไมโครถึงมิลลิวัตต์ขึ้นกับจำนวนหน่วยของวัสดุแปลงพลังงานฟิสิกส์อเล็กทริกและให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัสดุแปลงพลังงานที่ความถี่ค่าก่อน ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ออกแบบชุดเก็บเกี่ยวสามารถทำงานได้มีอย่างมีประสิทธิภาพสูงแม้ว่าพลังงานจากสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง หรือ สามารถยังคงสภาพการทำงานของไบโพิดและการพลังงานของวัสดุเนื่องจากการสั่นเชิงกลที่ความถี่ค่าก่อนไว้แม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลจากแหล่งกำเนิดซึ่งจะส่งผลให้อัตราการหมุนของกังหันไบโพิดเปลี่ยนไป อาศัยการทำงาน

ของเซ็นเซอร์ตรวจจับอัตราการไหลของแหล่งกำเนิดสื่อสารผ่านอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมให้ปรับระดับองศาของใบพัดสอดคล้องกับพลังงานจากแหล่งกำเนิดให้เหมาะสมที่ระดับความถี่กำลังก่อนของวัสดุแปลงพลังงาน รวมไปถึงให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้แม้ว่าพลังงานที่ได้รับจะมีขนาดน้อยก็ตาม



รูปที่ 1.แผนภาพการวิจัยการเก็บเกี่ยวพลังงานจากของไหลเพื่อใช้กับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2. วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองของไหลให้มีอาร์เทกซ์หรือการไหลแบบปั่นป่วนเพื่อพัฒนาต้นแบบเก็บเกี่ยวพลังงานน้ำที่ใช้หลักการไพเอโซอิเล็กทริก
2. สร้างต้นแบบเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ของของไหลที่ได้พลังงานพอเพียงใช้งานสื่อสารไร้สาย

3. การตรวจเอกสาร

หลักการทางไพเอโซอิเล็กทริกเป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาใช้หมายถึงการกระทำทางกลต่อวัสดุบางชนิดก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าในวัสดุนั้น เมื่อจัดให้วัสดุนั้นต่อกับโหนดภายนอกก็จะทำให้วงจรไฟฟ้าครบวงจรจะเกิดความต่างศักย์ตกคร่อมโหนดมีผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าค่าหนึ่งแปรผันกับโหนดนั้น โหนดภายนอกอาจเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ (Amirtharajah, 1999, Renaud *et al.*, 2008)

เช่น เซนเซอร์ไร้สายไมโคร คอนโทรลเลอร์ที่มีคำสั่งควบคุมให้ทำงานระยะไกล โมดูลสำเร็จรูปกับไฟระดับไมโครวัตต์ลงไปจนถึงนาโนวัตต์ เป็นต้น ที่ผ่านมา priya [2007] และ shen *et al.*, 2009 ได้รายงานว่าการแปลงพลังงานด้วยวิธีการทางไพเอโซอิเล็กทริกเข้ากันได้ดีกับเทคโนโลยี MEMS (Micro electro-mechanical system, ระบบไฟฟ้ากลขนาดเล็ก) ในปัจจุบันจัดเป็น 1 ใน 10 ยุทธศาสตร์กำหนดหน้าของประเทศ การแปลงพลังงาน และ การทดสอบสมบัติและประสิทธิภาพวัสดุไพเอโซอิเล็กทริกในระบบการไหลของของไหลยังมีการวิจัยน้อยมากจึงอ้างถึงการเคลื่อนที่ของไหลที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่กับผิวสัมผัส สัมพันธ์กับสมบัติความหนาแน่นและความหนืดของของไหล รวมถึง อัตราเร็วและขนาด characteristic length ของช่องการไหล โดยอาศัยตัวเลขเรย์โนลด์ (Sobey, 1982) มาพัฒนาตัวเก็บเกี่ยวของไหลในโครงการวิจัยนี้

4. หลักการและวิธีการทดลอง

จากหลักการทางพลศาสตร์ของของไหลดัง สมการ (1)

$$Re = \frac{\rho u D_H}{\mu} = \frac{u D_H}{\nu} = \frac{Q D_H}{\nu A} \quad (1)$$

เมื่อ D_H คือ characteristic length ของช่องการไหล: กรณีการไหลในท่อสี่เหลี่ยม $D_H = 4A/P$ (m)
 โดย $P = \sum_{i=0}^{\infty} l_i$ คือ wetted perimeter นิยามเป็นเส้นรอบผิวสัมผัสของช่องการไหล (m)
 Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องการไหล (m^2)
 u คือ ความเร็วเฉลี่ยของไหล (m/s)
 ν คือ kinematic viscosity (m^2/s): water = $1.004 \times 10^{-6} m^2/s @ 20^\circ C$
 μ คือ dynamic viscosity ของไหล ($Pa \cdot s$): water = $1.002 \times 10^{-3} Pa \cdot s @ 20^\circ C$
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3): water = $995.7 kg/m^3 @ 20^\circ C$

เมื่อ $re < 5$ จะเกิดการไหลแบบไม่มีการแยกตัว หรือเป็นการไหลแบบเสถียร (steady state)

เมื่อ $re \cong 5$ คู่กระแสน้ำวนจะเกิดขึ้นในเส้นทางการเดินของของไหลบริเวณหลังท่อนทรงกลม เมื่อ $re \cong 40$ คู่กระแสน้ำวนจะยึดตัวออกกลายเป็นความไม่เสถียรเกิดขึ้นและเกิดแรงผลักดันแบบพริ้วหรือดึก และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อ $re \cong 90$ โดยการไหลน้ำวนใช้ควบคุมระยะการหมุนน้ำวนและรอบความถี่การหมุน เมื่อ $re > 150$ เส้นทางการไหลน้ำวนเป็นแบบ laminar และแผ่ขยายออกไปหลังท่อน และเกิดการ

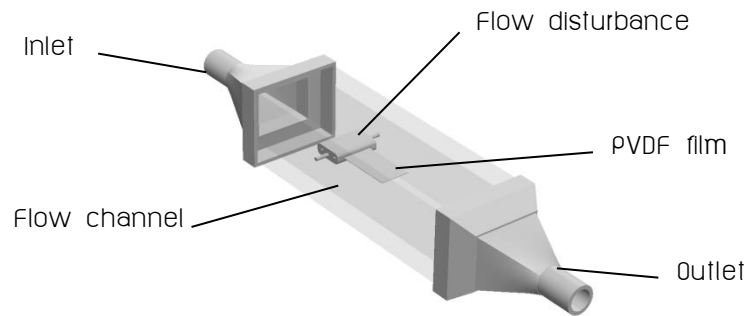
เปลี่ยนสถานะการไหลเป็นแบบ turbulence โดยเกิดขึ้นของน้ำวนแยกตัวออกจากกัน เป็นผลให้กระแส
น้ำวนรวมตัวกันเป็นสนาม turbulent และเมื่อ $Re \cong 300$ น้ำวนแบบพริ้วหรืออกติงจะสลายตัวจนหมดที่
ระยะห่างประมาณ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน (Sobey, 1982) ค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับตัว
ต้านทานที่เหมาะสม (Matching load) คือ $R = 665 \text{ k}\Omega$ สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการ (2)

$$P = \frac{2 V_{rms}^2}{R} \quad (2)$$

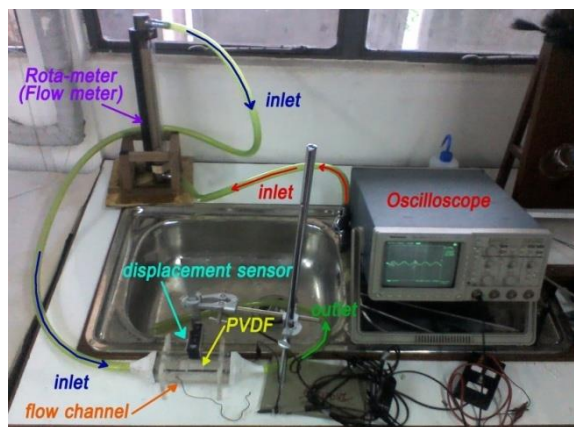
สำหรับเทคนิควิธีที่ใช้ในโครงการนี้อาศัยทดสอบกับของไหลมีทั้งแบบ turbulence และ lamellar
(Batchelor, G. K., 2000) โดยที่ Laminar Flow: เป็นการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อแต่ละอนุภาคของของไหลมีการ
เคลื่อนตัวแบบเป็นระเบียบไม่มีอันตรรกิริยากันระหว่างผิวหน้าของแต่ละอนุภาคที่เคลื่อนตัว กล่าวคือผลของ
การไหลแบบนี้จะทำให้ความเร็วของไหลมีค่าคงตัวที่ทุกจุดของการไหล ส่วน Turbulent Flow: เป็นการ
ไหลแบบไม่ปกติที่มีลักษณะมีน้ำวนขนาดเล็กเกิดขึ้นในบริเวณการไหล ความเร็วของไหลมีค่าไม่สม่ำเสมอที่ทุก
จุดของของไหล

งานสร้างระบบการไหลให้เป็นระบบปิดและงานสร้างตัวเก็บเกี่ยวพลังงาน ประกอบด้วยติดตั้งส่วนประกอบ

- a. ช่องทางการไหล (flow channel) เพื่อใช้ในศึกษาและติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงาน
- b. ฝาครอบทางน้ำเข้า/ออก มีลักษณะเป็นรูปกรวยฐานสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับช่องทางการไหล
- c. สายยางพลาสติก
- d. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (rota-meter) สามารถวัดอัตราการไหลในช่วง 0.2 - 2.4
แกลลอน/นาที โดยมีความละเอียด 0.02 แกลลอน/นาที (Fischer & Porter Co., model 10A3565, USA)
- e. ตัวยึดจับวัสดุไฟอ็อกไซด์เหล็กกริกแบบการค่าและที่เตรียมขึ้น
- f. piezoelectric film (LTD1-028K/L, Measurement Specialties Inc., US)
- g. Digital oscilloscope (Tektronix, TPS 2014, CHINA)
- h. CMOS Laser Analog Sensor (IA-030, Keyence, Japan) และ amplifier (IA-1000,
Keyence, Japan)
- i. ทดสอบการสั่นด้วยความถี่ต่างๆของวัสดุไฟอ็อกไซด์เหล็กกริก ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ต้นแบบเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ที่มาจากของไหลอันได้แก่ กระแสน้ำ

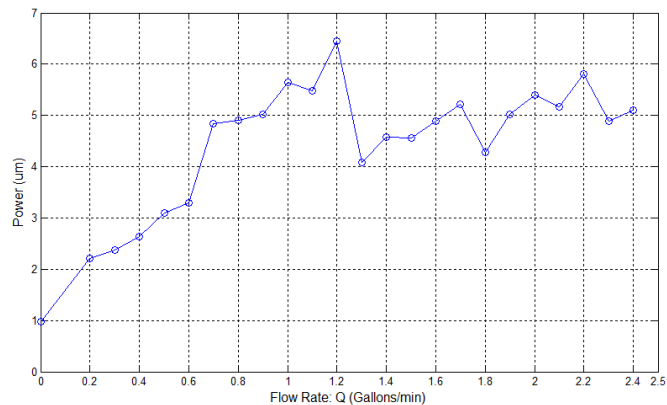


รูปที่ 3 แหล่งพลังงานน้ำจำลอง



รูปที่ 4 ชุดทดสอบการสันความถี่ต่างๆของวัสดุไพเอโซอิเล็กทริก

5. ผลการทดลองและวิจารณ์



รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าของฟิล์ม PVDF ที่ได้รับกระแสที่อัตราการไหลต่างๆ

พบว่าแบบที่ 1 lamellar flow มีจลศาสตร์ที่ดีกว่า วัสดุที่ใช้เป็นครั้งแรกในโครงการเป็นพอลิเมอร์ไพโซอิเล็กทริกซึ่งเหมาะกับการใช้งานเมื่อพลังงานกลมีความถี่ต่ำ (<math>< 10\text{ Hz}</math>) หรือมีแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามาก เนื่องจากพอลิเมอร์สามารถยึดตัวได้ เป็นที่น่าเสียดายเนื่องจากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากพอลิเมอร์จะให้พลังงานต่ำ ในเวลาต่อมาจึงใช้เซรามิก PZT-S เพื่อที่จะใช้งานระบบเก็บเกี่ยวในทางปฏิบัติ ต้องติดตั้งตัวแปลงสัญญาณเข้ากับตัวแปลงพลังงาน บทบาทของตัวแปลงพลังงานคือเพิ่มปริมาณพลังงานที่ส่งไปยังอุปกรณ์โหนดอิเล็กทรอนิกส์ให้มากที่สุดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน ตัวแปลงพลังงานจำเป็นต้องแปลงสัญญาณที่ได้รับให้เหมาะสมกับโหนดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ในกรณีการแปลงสัญญาณของคานาสั่นไพโซอิเล็กทริก สัญญาณแรงดันไฟฟ้า AC ที่ได้ต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณเพื่อใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยโหนดที่ออกแบบมาให้ทำงานที่สัญญาณ DC ด้วยแรงดัน V เฉพาะหากพลังงานที่ใช้ในวงจรมีค่าผิดไปจากค่าที่ระบุไว้จะไม่สามารถทำงานได้หรือก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับวงจร ดังนั้นตัวแปลงพลังงานจำเป็นต้องแก้ไขสัญญาณของแรงดัน AC ที่ได้จากวัสดุแปลงพลังงานและปรับระดับของแรงดันให้เหมาะสมกับโหนดที่ใช้ ในงานวิจัยนี้ใช้โหนด 1 Mohm ซึ่งใกล้เคียงกับความต้านทานเซนเซอร์ไร้สาย จึงนำวัสดุเซรามิกไปพัฒนาต่อยอดสร้างตัวเก็บเกี่ยวของโหนดที่เป็นพลังงานลมเพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วซึมของน้ำเข้าไปในตัวเก็บเกี่ยวพลังงานน้ำ เป็นโครงการต่อยอด 1 โครงการเรื่อง ฎงหันลมชนิดไพโซอิเล็กทริกดักจับพลังงานลมความเร็วต่ำถึงต่ำมากเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ทุนวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรมประจำปี 2559

6. สรุปผลการทดลอง

ได้ตัวเก็บเกี่ยวพลังงานที่สามารถดักจับพลังงานกลจากการไหลของน้ำและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริก ใช้ฟิล์มไพโซอิเล็กทริกที่ดัดงอไปมาได้ทำหน้าที่เป็นแทรนสดิวเซอร์สำหรับแปลงพลังงานดังกล่าว สามารถสร้างพลังงานจลน์ระดับ 44 ไมโครวัตต์ได้จากการไหลกระเพื่อมๆของน้ำได้ ทั้งนี้โดยการทำให้เกิดวอร์เทกซ์หรือกระแสไหลวนรอบๆแทรนสดิวเซอร์นั้น ความเร็วของการไหลเพียง 6.8 เมตรต่อวินาที ความถี่ตกกระทบฟิล์มต่ำระดับ 0.4 เฮิรตซ์ เมื่อมีไหลภายนอก 1 เมกกะโอห์มจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าในวงจร 0.18 ไมโครวัตต์ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานร้อยละ 4.4 การใช้ประโยชน์ต้นแบบทำได้โดยวางในทางน้ำที่มีความแตกต่างของระดับการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงหรือวางในท่อสำเสียงซึ่งจะนำพลังงานศักย์เอาต์พุตไปใช้ในงานสื่อสารไร้สายแจ้งดาตาระดับความลึกของระดับน้ำ เป็นต้น

7. บรรณานุกรม

- Amirtharajah, R., 1999. Design of Low Power VLSI Systems Powered by Ambient Mechanical Vibration, In Department of Electrical Engineering. Massachusetts Institute of Technology.
- Batchelor, G. K., 2000. *An Introduction to Fluid Dynamics*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, *Cambridge Books Online*. Web. 02 July 2016. <http://dx.doi.org/10.1017/C809780511800955>
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E. 2000. *‘Wind energy handbook’*, John Wiley and Sons.
- Erturk, A., Inman, D.J. 2011. Appendix A: Piezoelectric constitutive equations, Piezoelectric energy harvesting, John Wiley & Sons Ltd., p. 343-348.
- Federspiel, C.C., Chen, J. 2003. Air-Powered Sensor. In Proceedings of the IEEE Sensors Conference, Toronto, Canada. 22-24 October 2003.
- Ferrari, M., Ferrari, V., Mariotti, D. and Taroni, A., 2005. *“Modeling, fabrication and performance measurements of a piezoelectric energy converter for power harvesting in autonomous microsystems,”* 2005 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, no. May, pp. 1862-1866.
- Ikeda, T. 1990. Fundamentals of Piezoelectricity. New York: Oxford University.

- Guyomar, D., Badel, A., Lefeuvre, E., and Richard, C. , 2005. “*Toward energy harvesting using active materials and conversion improvement by nonlinear processing,*” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, vol. 52, no. 4, pp. 584–595.
- LuF., LeeH.P., Lim, S.P., 2004. “*Modeling and analysis of micro piezoelectric power generators for micro-electromechanical-systems applications,*” Smart Materials and Structures, vol. 13, no. 1, pp. 57–63.
- Mason, W.P., Jafee, H. 1954, Methods for measuring Piezoelectric, Elastic, and Dielectric Constants of Crystals and Ceramics. Proceeding of the IRE. 42: 921-930.
- Myers, R., Vickers, R., Kim, H., Priya, S. 2007. Small scale windmill. Applied Physics Letters. 90(5).
- Ngo, K., Phipps, A., Lin, J., Nishida, T., Xu, S., 2006. “*Power Converters for Piezoelectric Energy Extraction,*” in ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Chicago, 2006.
- Shindo, Y., Narita, F. 2014. Dynamic bending/torsion and output power of s-shaped piezoelectric energy harvesters. Int. J. Mech. Mater. Des., 10, 305–311.

8. ข้อคิดเห็นงานวิจัยต่อไป

ต้นแบบที่ได้เมื่อนำไปใช้งานในสถานที่จริงคือบ่อบำบัดน้ำ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ น้ำรั่วเข้าไปในวงจรที่เกี่ยข้องเสียหาย จึงควรมีเทคโนโลยีอื่นร่วมด้วยในการทำให้ใช้งานได้จริงใต้น้ำ

9. มีโครงการวิจัยต่อยอด 1 เรื่อง คุ้มหันลมชนิดโพธิ์โซอิเล็กทริกดักจับพลังงานลมความเร็วต่ำถึงต่ำมาก เพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า กุณวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรมประจำปี 2559

10. ภาคผนวก ผลงานตีพิมพ์ 1 เรื่อง

Perspective microscale piezoelectric harvester for converting flow energy in water way

Krit Koyvanich¹, Pruittikorn Smithmaitrie², Nantakan Muensit^{1,3*}

¹Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University (PSU), Songkhla, Thailand

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University (PSU), Songkhla, Thailand

³Center of Excellence in Nanotechnology for Energy (CENE), Prince of Songkla University (PSU), Songkhla, Thailand

*Corresponding author. Tel: (+66) 74288766; Fax: (+66) 74554489; E-mail: nantakan.m@psu.ac.th

Received: 15 October 2014, Revised: 03 March 2015 and Accepted: 05 March 2015

ABSTRACT

This work proposes an energy harvester that captures the mechanical energy caused by water flow and converts into an electrical energy through the piezoelectric effect. A flexible piezo-film has been used as a transducer in the energy harvesting system and the kinetic energy of the water flow is produced by using the vortex induced vibration technique. When placing in water way the transducer is fluctuating in the vortex of the fluid flow, producing the kinetic energy of 44 μW at a low fluid velocity of 6.8 m/s and low frequency of 0.4 Hz. This configuration generates a corresponding open-circuit voltage of 6.6 mV at a matching load of 1 M Ω , leading to the maximum output power of 0.18 μW . An efficiency power conversion of the harvesting system was evaluated to be about 4.4 %. It is possible to use the proposed unit under gravitational force where there is a difference in the levels of the fluid no matter in water way or transporting parts such as petroleum pipes. However, rectifying the output voltage generated by the present micro generator is compulsory in order to feed small scale electronics and communication, for instance, wireless sensor networks. Furthermore, multiple arrays of the piezoelectric unit are also promising for delivering higher output power. Copyright © 2015 VBRI Press.

Keywords: Piezoelectric; PVDF; energy harvesting; hydropower.



Krit Koyvanich is a research scholar in the Department of Physics of Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand. He received B.Sc. from Thaksin University in 1998 and M.Sc. in Physics from Kasetsart University in 2004. His research interest is in design and implementation of micro-scale power generator including energy harvesting systems.



Pruittikorn Smithmaitrie received his B.Eng. degree in mechanical engineering from Prince of Songkla University, Thailand, in 1996. After his graduation, he received a Royal Thai Government Scholarship to pursue his M.S. and Ph.D. degrees in the United States. In 2000, he obtained the M.S. degree in mechanical engineering from Vanderbilt University, Nashville, TN. In 2004, he received the Ph.D. degree in mechanical engineering from University of Kentucky, Lexington, KY. He has been a faculty member of the Mechanical Engineering Department, Prince of Songkla University, since 1996 and became an Associate Professor in 2008. His research interests are the analysis and design of mechatronic systems and piezoelectric applications.



Nantakan Muensit received her B.Sc. degree from Prince of Songkla University in 1983 and M.Sc. degree from Chulalongkorn University in 1986. In 1999, she obtained a Ph.D. degree in Material Physics from Macquarie University, Sydney, Australia. She has been a faculty member at Prince of Songkla University since 1987 and became an Associate Professor in 2004. Her research interest is mainly the preparation and applications of energy harvesting materials. Her publications including books and patents comprise more than 100 papers in various refereed journals and conference proceedings.

Introduction

For many years there have been remarkable evolutions of self-powered devices such as airborne and stationary surveillance cameras, medical sensors, and wearable personal electronics [1-3]. These devices are conceived to work in a standalone manner, in particular, in rural places or in unmanned vehicles. While there is a decrease in powering various electronic components, there is an increase in developing microgenerators to provide sufficient electrical energy for those low power consumption devices. One of the most recent technologies is the piezoelectric power generator where a mechanical

energy is captured and converted into an electrical energy through the piezoelectric effect. The most attractive advantage of the technique is that there is no combustion involved in the energy conversion process.

Among several ambient sources of mechanical energy such as vibration, human motion, wave's potential, or wind, it can be a vibrating structure, a moving object, and vibration induced by flowing fluid or gas (water or air). The energies are related to induced vibrations or movement to the piezoelectric film by fluid/gas flow with several techniques applied [2].

Harvesting energy from fluid flow by flow induced vibration has been studied by several authors [3]. Well-known piezoelectric polymer films, i.e. polyvinylidene-fluoride (PVDF) have been used as "cells" for traveling vortices behind a bluff body to strain the piezoelectric elements. The flapping mechanical motion resembles that of a natural eel swimming, which can be converted into electrical power by harvesting.

Taylor *et al.* [4] studied the interaction between the hydrodynamics of water flow and the optimized resonance circuit. A year later, Techet *et al.* [5] presented the flapping frequency as a function of increasing flow speed and exposed a relation of strain energy density with different lengths of the cells. However, the output power of the membrane was not presented. Pobering and Schwesinger [6] presented two designs of a flapping flag and a piezo-bimorph generator, which is the place of the von Karman's hydrodynamic instability. The maximum power density of the piezo bimorph configuration has been evaluated of around 68 W/m². Akaydin *et al.* [7] placed flexible piezoelectric cantilever beams inside a turbulence boundary layer which; here the experimental and the computational simulation results of voltage outputs that have been validated for a wake of a circular cylinder at high Reynolds numbers. All of them were performed in large scale envelopment, in a wave tank/river/ocean. An alternative system for harvesting water flow energy has been provided by the installation of a small scale pipe system. Wang *et al.* [8] presented the fabrication and demonstration of a proposed device, where a piezoelectric film oscillates on a flexible diagram due to vortices shed from the bluff body in a water flow channel. Indirect energy scavenging from fluid flow through unsteady vortices has been presented by Molino-Minero-Re *et al.* [9]; they used motion from a cylindrical bluff body that generated vortices and a cantilever holds the piezoelectric generators.

Not earlier than 2011, with the investigations described above, piezoelements were embedded in the media flow. However, we have not found any direct experimental evidence of a small scale ambient harvesting system. This work aims to harvest water flow energy by using a flexible piezo film and a vortex induced vibration (VIV) technique [10]. The proposed piezogenerator can be directly placed in water way and an advantage is that the absence of rotating elements and thus a maintenance free device is possible.

Perspective system

The fluid flow energy harvesting by vortex induce vibration is a highly nonlinear phenomena. The frequency

of vortex shedding (f_s) needs to approach the resonance frequency (f_r) of the piezoelectric generator for obtaining the highest energy output. Many factors have an effect on that system such as a mean value of fluid flow velocity (U), the bluff body's height (D), and others. This article explores in the details of the concept as presented in Fig. 1. When the fluid flow is passing over a bluff body, the VIV has been generated by the vortex's shedding oscillation. The piezoelectric elastic film (like a flag) is oscillating. This behavior can be described by a mechanical spring mass vibration. The harvested electrical output from the piezoelectric converter can be predicted by using an equivalent circuit model.



Fig. 1. Perspective model of fluid flow energy harvesting via VIV.

Vortex induced vibration

With fluid dynamics, the VIV method is a fundamental concept of a clean and renewable source of energy. Periodic oscillating flow over a stationary circular cylinder (bluff body) in a fluid at rest is characterized by the Reynolds number (Re). It can be expressed as the ratio of inertial forces and given by,

$$Re = \frac{\bar{U} \cdot D_h}{\nu} \quad (1)$$

where ν is the kinematic viscosity and D_h is the hydraulic diameter. The parameter f_s for a cylinder is related to the Strouhal number (St), which is a dimensionless number as a function of Re , describing oscillating flow mechanisms by following equation [11];

$$f_s = \frac{St \cdot A}{D} \quad (2)$$

where A is the flow channel area. The vortex shedding frequency is evaluated from the above equation on the rough assumption that St has a constant value of 0.21.

Consider the elastically supported rigid circular cylinder, the Kutta-Joukowski theorem can be used to determine the lift force (F_L) acting on the bluff body due to fluid flow. The fluid structure system can be treated as a mechanical spring mass system with a fluid forcing function as given by eq. (3) [12];

$$\ddot{Y}(t) + 2\zeta\dot{Y}(t) + Y(t) = \frac{U^2}{m} c_f(t) \quad (3)$$

Where,

$$m^* = \frac{2m}{\rho L D^2}; U^* = \frac{U}{\alpha_s D}; 2\zeta = \frac{b}{m\alpha_s}; \alpha_s = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

The related parameters constant m is a bluff body mass, m^* is the cylinder to fluid mass ratio, $Y(t)$ the displacement of cylinder oscillation, U^* the non-dimensional free velocity, $c_y = 2F_y/\rho DU^2$ the lift coefficient in y -direction, L the cylinder length, ω_n the natural frequency of system, ρ the fluid density, b the damping coefficient, and k is the spring constant. Assuming the quantity of lift acting on the beam structure and cylinder structure together, although the cylinder was fixed. The c_y also generated in periodicity and it is given by:

$$c_y(t) = C_y \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

Mechanical vibration

The energy harvester model can be equivalent as a damping mass-spring mechanical system by the degree of freedom (DOF) diagram as shown in Fig. 2. The seismic mass connected to movable body by a spring with a stiffness of k and the damper with coefficient of b . For the harvesting conversion, b is comprised of both the parasitic losses of b_p and electrical energy extracted by the transduction mechanism of b_e ; $b = b_p + b_e$. This system consisted with seismic mass of m fixed on the moving body and the system is excited by an external force of $f(t)$ acting on with sinusoidal vibration, $Z(t) = Z \sin(\omega t)$. At the resonance frequency, there is a net displacement of $Y(t)$ between mass and frame, then the equation of motion of the seismic mass system can be described by eq. (6) [13]:

$$m\ddot{y}(t) + b\dot{y}(t) + ky(t) = m\ddot{z} + f(t) \quad (6)$$

where the excitation frequency of ω at the natural frequency of system ω_n , and the damping factor of ξ are given by eq. (7):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad \xi = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (7)$$

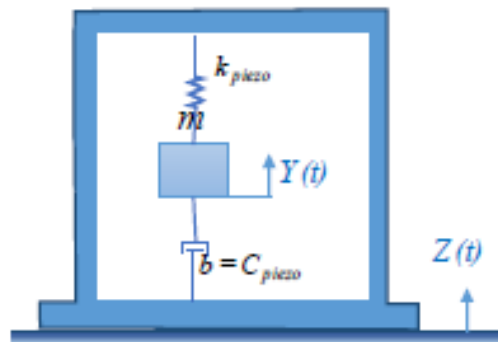


Fig. 2. Generic model of a piezoelectric energy harvester.

Equivalent circuit

The mechanical system can be described with an equivalent diagram with electrical components [14]. The inductance of L represents the seismic mass and inertia of the harvester, C_s is inversely proportional to a stiffness of k , C_p represents the static capacitance of the harvester, and R is the insulation leakage resistance of the harvester element, or its represents the damping coefficient of b . For the electric equivalent of a piezoelectric generator model can be described by applying Kirchhoff's current and voltage law, referring to eq. (8a and b) and (8c), respectively [15].

$$L\ddot{q}(t) + R\dot{q}(t) + \frac{1}{C_s}q(t) + U_{me}(t) = V(t) \quad (8a)$$

$$i = C_p \cdot \dot{U}_{me}; \quad U_{me} = U_{Cp} = \frac{1}{C_p} \int i \cdot dt \quad (8b)$$

$$U_{Cp} = V - U_{Ca} - U_{Lea} - U_R \\ = V - \frac{1}{C_s} \int i \cdot dt - I_m \frac{dV}{dt} - R \frac{dV}{dt} \quad (8c)$$

The measurement of U value and the fluid flow rate (Q) is done by the relation given by [16]:

$$Q = \bar{U} \cdot A \quad (9)$$

The fluid flow power (P_{flow}) and the generated electrical power output (P_{elec}) is expressed by:

$$P_{flow} = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (10)$$

$$P_{elec} = \frac{2V_{rms}^2}{R} \quad (11)$$

where ρ is the fluid density, R the load resistance and V_{rms} represents the root-mean-square value of a voltage drop across the load. The total efficiency conversion (η) of the harvester can be obtained by taking the output power from eq.(11) divided by the input power from eq.(10) as given by:

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{flow}} = \frac{V_{rms}^2}{\rho R A U^3} \quad (12)$$

Materials and methods

Materials

The piezoelectric harvester unit and the schematics of the fluid flow energy harvesting system are shown in Fig. 3 and 4. The harvester consists of a flow channel, bluff body, piezoelectric film, and inlet/outlet covers. The size of the flow channel by length \times width \times depth is 26 mm \times 36 mm \times 146 mm, and was made from acrylic sheet series of Xhac-001 provided by Xinghua Manufacturer (RP.China).

with its thickness of 8 mm. A 6 mm-high and 20 mm-wide rectangular bluff body with rounded edges was placed in the flow channel at the center height and 50 mm from the inlet boundary. A water proof laminated flexible piezoelectric PVDF film is from the LTD1-028K/L series manufactured by Measurement Specialties Inc., (U.S.A.) [17]. The properties of the material are presented in Table 1. The piezoelectric film was cleaved behind to the bluff body. Inlet and outlet boundaries were each covered by rectangular cone with 50 mm in length and 10 mm of cavity diameter as shown in Fig. 3. All the ABS plastic accessories as bluff body and both inlet/outlet covered had been designed and manufactured by using a Makerbot replicator 2x experimental 3D printer (U.S.A.).

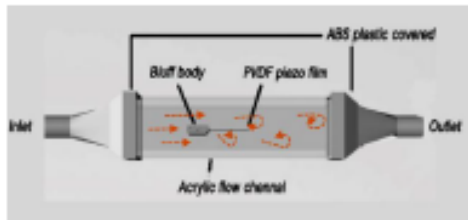


Fig. 3. Harvester unit.

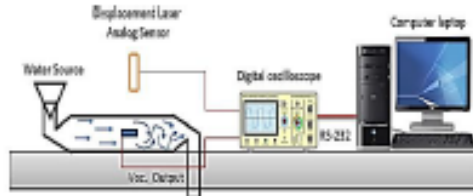


Fig. 4. Schematic diagram of the fluid flow energy harvesting setup.

Table 1. Summary of the PVDF film property.

Density kg/m ³	Young modulus x10 ⁹ N/m ²	Capaci- tance nF/cm ² @1kHz	Relative permittivity %	Piezo strain const. 10 ⁶ C/N	Piezo Coupling factor
				d ₃₁ d ₃₂	k ₃₁ k ₃₂
1,780	2-4	1.38	12-13	-33 29	12 14

Fig. 4 is a schematic diagram of the experimental apparatus for testing the fabrication device by ordinary tap water was used as the source supplying the fluid flow energy. Then water was running through an inch diameter PVC elastic tube. A Rota-meter (Fisher & Porter Co., model 10A3565, U.S.A.) was used for flow rate (Q) measurements and it was placed between the water supply and the harvester unit, joined together by PVC elastic tubes. After that the water passed the harvester unit, and finally it was released back to the sink. A digital oscilloscope (Tektronix, TPS 2014, P.R. China) was used at a 2,500 sample rate for 10.0 s measurements. Tip displacement film vibrations were taken for average amplitude of PVDF oscillation (A_{avg}) by using a CMOS Laser Analog Sensor (LA-030, Keyence, Japan) with an

amplifier (LA-1000, Keyence, Japan) connected to an oscilloscope. All the measured data were collected by LABVIEW software via a USB to RS-232 cable. Spectral analysis and low passed filter function were carried out by using MATLAB-based FFT routine.

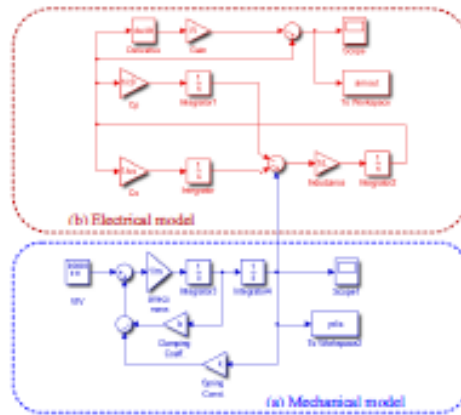


Fig. 5. MATLAB-Simulink of the combination of (a) mechanical vibration and (b) equivalent circuit models.

Table 2. Results of fluid flow characteristics and energy output on the VIV effect.

Q gallons /min	Beam oscillation		Flow characteristic			Electrical energy output
	f (Hz)	A _{avg} (mm)	U m/s	Re	f _s (Hz)	V _{avg} (mV)
0.6	-	2.86	3.8x10 ⁻⁵	37.7	0.40	6.60

Methods

Water supply Q has been controlled by a ball valve and fixed U at $3.78 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. The corresponding frequency of f_s from a bluff body had been calculated by using eq. (2).

Electro-mechanical systems can be modeled in the multi-purpose simulation environment MATLAB-Simulink. In this section, the fluid flow harvesting experiment setup is presents in Fig. 5. The flow characteristic information can be calculated by using eqs. (9)-(12) to obtain mechanical vortex shedding oscillation data. Assuming the amplitude of vortex shedding oscillation is $2/3$ of D_b , and a flow condition with Reynold no. of 37.7, the $Q \approx 0.6$ gallons/min was obtained from eq. (1). The proper Simulink model of the combination mechanical vibration (red color) for the film oscillations and the equivalent circuit (blue color) for the voltage output were presented in Fig. 5(a) and 5(b).

Results and discussion

The flow characteristics results of the VIV effect and electrical energy output have been summarized in Table 2. The obtained flow velocity value of this experiment occurred in $Re=37.7$, which indicates a laminar flow steady

state. The mechanical oscillations established by a pair of fixed vortices was generated in the wake of a bluff body corresponded to $U=3.8 \times 10^{-3}$ m/s. Oscillating frequency was not detected because of the vortex pair oscillations at upper and lower of film were canceled out, although the A_{avg} could be observed with 2.86 mm.

Using flow characteristic information, the f_i and A_{avg} in Table 2, applied to the VIV signal generator as shown in Fig. 5, the results of the tip displacement at the free end of the film oscillations obtained from the simulation are shown in Fig. 6. The results have been presented after applying a low passed filter the V_{oc} signals by the Fourier technique with MATLAB to take away the high frequency which might associate to electromagnetic radiation noise from other electronic devices. The filtered under 10 Hz signal was in good agreement with the simulation result as seen in Fig. 7; a comparison of the displacement oscillations of the film, which is corresponding to the filtered experimental signal from the simulation with 180 degree phase difference. Moreover, the frequency of V_{oc} experimental results in Table 2 is agreeable to the calculated flow information of the VIV.

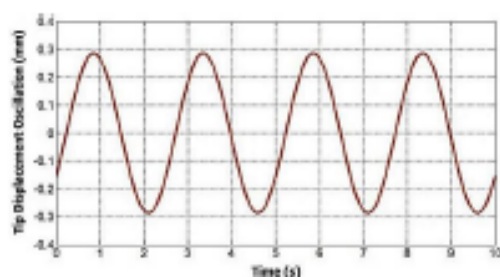


Fig. 6. Displacement of film oscillations at free end.

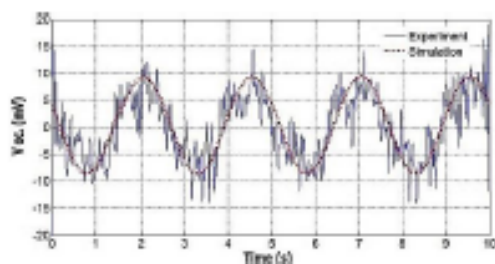


Fig. 7. Low passed filtered of V_{oc} signal with the results of MATLAB-Simulink.

Taking the common load $R=1$ M Ω for the PVDF [18], the total conversion efficiency of the microgenerator was able to calculate by using eq. (12). The regular flow pattern represented the maximum V_{pp} at $Re = 37.7$ which lead to the maximum $P_{flow} = 44$ μ W and $P_{elec} = 0.18$ μ W. These power values give the $\eta=4.4$ %. This is the performance of a single piezo-generator. An increase in η can be developed

by producing multiple arrays of the harvester, so that the P_{elec} is increased at a constant P_{flow} .

Conclusion

This work presents a micro-generator converting an energy from fluid flow into an electrical output based on the piezoelectric effect. A flexible PVDF has been used as a transducer in the energy harvesting system. Experiments need not perform at a resonance frequency but at a low oscillating frequency of 0.4 Hz and a tailored fluid velocity of -6.8 m/s., producing the kinetic energy of of 44 μ W. This unit generates a corresponding open-circuit voltage of 6.6 mV at a matching load of 1 M Ω , leading to the maximum output power of 0.18 μ W. An efficiency power conversion of the harvesting system was evaluated to be about 4.4 %. It is possible to use the proposed unit under gravitational force where there is a difference in the levels of the fluid no matter in water way or transporting parts such as petroleum pipes. However, rectifying the output voltage generated by the present microgenerator is compulsory in order to feed small scale electronics and communication, for instance, wireless sensor networks. Furthermore, multiple arrays of the piezoelectric unit are also promising for delivering higher output power.

Acknowledgements

Authors are thankful to the Center of Excellence in Nanotechnology for Energy (CENE) and the Graduate School for financial support and the Department of Physics and the Department of Electrical Engineering for advice; all units are part of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus.

Reference

- Self-Powered System with Wireless Data Transmission; *Nano. Lett.*, **2011**, *11* (6), 2572. DOI: [10.1021/la1201505c](https://doi.org/10.1021/la1201505c).
- Kong, L.B.; Li, T.; Hing, H.H.; Boey, F.; Zhang, T.; Li, S. (Eds.), Chapter 2, Waste Mechanical Energy Harvesting (I): Piezoelectric Effect, Waste Energy Harvesting: Mechanical and Thermal energies, Lecture Notes in Energy 24, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, **2014**. DOI: [10.1007/978-3-642-54634-1_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54634-1_2).
- Zhu, D.; Chapter 2: Vibration Energy Harvesting: Machinery Vibration, Human Movement and Flow Induced Vibration, Sustainable Energy Harvesting Technologies - Past, Present and Future, Tan Y.K. (Eds.), InTech: Croatia, **2011**, pp. 25-54. DOI: [10.5772/25731](https://doi.org/10.5772/25731).
- Taylor, G.W.; Burns, J.R.; Kemmann, S.M.; Powers, W.B.; Welsh, T.R.; *IEEE J. Oceanic Eng.*, **2001**, *26*(4), 539. DOI: [10.1109/48.972090](https://doi.org/10.1109/48.972090).
- Techet, A.H.; Allen, J.J.; Smiths, A.J.; Piezoelectric Eels for Energy Harvesting in the Ocean, *Proceeding of The 12th (2002) International and Polar Engineer Conference*, Kitakyushu, Japan, , **2002**, v.II, pp. 713-718. DOI: [10.1109/48.972090](https://doi.org/10.1109/48.972090).
- Pohoring S.; Schweininger N.; A Novel Hydropower Harvesting Device, *Proceeding of the 2004 International Conference on MEMS, NEMS, NANO and Smart Systems*, Alberta, Canada, ICAMENS'04, **2004**, pp.480-485. DOI: [10.1109/ICMENS.2004.14](https://doi.org/10.1109/ICMENS.2004.14).
- Akaydin, H.D.; Niell, N.; Andropoulos, Y.; Energy Harvesting from Highly Unsteady Fluid Flows using Piezoelectric Materials, *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, **2010**, *Vol. 21*, n.1263-1278. DOI: [10.1177/1045389X10366317](https://doi.org/10.1177/1045389X10366317).
- Wang, D.A.; Pham, H.T.; Chao, C.W.; Chen, J.M.; A Piezoelectric Energy Harvesting Based on Pressure Fluctuations in Kármán Vortex Street, *World Renewable Energy Congress: Hydropower Application*, Linköping, Sweden, **2011**.

- DOI: [10.1088/0964-1726/22/2/025016](https://doi.org/10.1088/0964-1726/22/2/025016).
9. Molino Mirero Re E.; Carbonell Vertiz M.; Fiasc Fuentes C.; Manuel Lazaro A.; Toma D.M., *Instrumentation and Technology Conference (I2MTC), 2012 IEEE International*, Graz, Austria, **2012**, pp. 624-627.
DOI: [10.1109/I2MTC.2012.6225636](https://doi.org/10.1109/I2MTC.2012.6225636).
 10. Falkovich, G.; *Fluid Mechanics, A Shot Course for Physicists*, Cambridge University Press, **2011**.
DOI: [10.1017/CBO9780511794153](https://doi.org/10.1017/CBO9780511794153).
 11. Sobey, I.J.; *J. Fluid Mech.*, **1982**, *125*, 359-373.
DOI: [10.1017/S0022112082001371](https://doi.org/10.1017/S0022112082001371).
 12. Rao, K.M.; Manur, A.G.; *JOSR-JEEE*, **2013**, *6(6)*, 26.
 13. Telba, A.; Ali, W.G., *Proceeding of the World Congress on Engineering*, London, U.K., Vol. II, **2012**.
 14. Stawisko, M.; Uhl, T.; *Mechanics*, **2008**, *27(4)*, 161.
 15. Agoston, K.; *Scientific Bulletin of the „Petru Poni” University of Irgis Muzaj*, **2010**, Vol. 7 (XXV) no. 2, pp. 14-17.
 16. White, F.M.; *Fluid Mechanics (4th eds)*, McGraw-Hill international (eds), **2003**.
 17. Piezo Film Sensors Technical Manual, Measurement Specialties, Inc. P/N: 1005663-1, **1999**.
URL: www.sparkfun.com/datasheets/Sens-sens/Film/MSL-techn.pdf
 18. LDT1-028K Piezo Sensor with Lead Attachment, Application Note 01800034-000, Rev.B, **2006**.
URL: www.fisatom.com/datasheets/products/LDT1-028K%20Application%20Note_398.pdf

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการ การจัดการพลังงานให้เซนเซอร์ในเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า

[Energy management for powering sensor nodes in wireless network consuming kinetic-to-electrical energy conversion]

คณะนักวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานจน์ มุรสิต
นาย ภาณุ ไทยนิรมิตร

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2559 รหัสโครงการ SC1580050b

ส่วนที่ 2 รายละเอียดส่วนของเนื้อหา

1.ชื่อชุดโครงการวิจัย

[ภาษาไทย] การสร้างพลังงานสะอาดรูปแบบใหม่และการจัดการพลังงานสำหรับการทำงานด้วยตัวเองของอุปกรณ์พกพาและเครือข่ายไร้สาย

[ภาษาอังกฤษ] Generation of novel clean energy and energy management for self-powered portable devices and wireless networks

รหัสโครงการวิจัย SCI580050M

2.ชื่อโครงการวิจัยย่อย

[ภาษาไทย] การจัดการพลังงานให้เซ็นเซอร์ในเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า

[ภาษาอังกฤษ] Energy management for powering sensor nodes in wireless network consuming kinetic-to-electrical energy conversion

รหัสโครงการวิจัย SCI580050b

3.คณะนักวิจัย

2.1 รองศาสตราจารย์ ดร. นันทกานตัญญ์ มุรศิต หัวหน้าโครงการ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อีเมล nantakan.m@psu.ac.th

2.2 นายภาณุ ไทยนิรมิตร

บัณฑิตศึกษาศาสาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.3 พศ.ดร.วรรณรัช สันตอมรทัต ที่ปรึกษาโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูป	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
วิธีการทดลอง	3
ผลการทดลองและวิจารณ์	6
สรุปผลการทดลอง	7
เอกสารอ้างอิง/บรรณานุกรม	7
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	8
ภาคผนวก	8

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 องค์ประกอบของการเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	1
รูปที่ 2 บิมคานตีสิวอร์ตรึงปลายข้างหนึ่งไว้ในขณะที่อีกปลายหนึ่งเคลื่อนที่อิสระ...	3
รูปที่ 3 แบบจำลองคานสั้นที่ใช้ในการก่อกำเนิดพลังงานกลในงานวิจัย	3
รูปที่ 4 ส่วนประกอบที่แสดงหน้าที่การทำงานของวงจร	4
รูปที่ 5 ส่วนประกอบที่แสดงหน้าที่การเก็บสะสมพลังงาน	4
รูปที่ 6 EnOcean module กับไฟต่ำ พลังงานจากคานสั้นที่สร้างขึ้นพอเพียงป้อนวงจร	5
รูปที่ 7. ระบบการจัดการพลังงานเซนเซอร์ไร้สาย.....	5
รูปที่ 8 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อมือกดเพาเวอร์แบงก์เป็นจังหวะ	6
รูปที่ 9 การทดสอบใน นาถุง ในอำเภอเทพา	6
รูปที่ 10 วงจรจัดการพลังงานจากโครงการนี้ที่ต้องการต่อยอดเชิงพาณิชย์	7

ก

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยภายใต้งบประมาณสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เรื่องการจัดการพลังงานให้เซมิคอนดักเตอร์ในเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงาน ไฟฟ้านั้น คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นอย่างสูง คณะผู้วิจัยยินดีเป็นอย่างยิ่งถ้าหากโครงการนี้ได้รับการต่อยอดพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมนำไปสู่เชิงพาณิชย์ ได้ในอนาคต

ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์และบุคคลากรในสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อ การพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในรูปแบบต่างๆมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงการนี้ให้ความสำคัญกับการจัดการให้ระบบทำงานร่วมกันได้ในระหว่างองค์ประกอบต่างๆที่จำเป็นนับตั้งแต่ตัวแปลงพลังงานหรือวัสดุไฟอ์โซอิเล็กทริก ตัวเก็บกักพลังงาน วงจรเรกติไฟเออร์ วงจรควบคุมแรงดัน อุปกรณ์ไร้สายและเครือข่าย ตลอดจนแหล่งพลังงานโดยรอบระบบ ในที่นี้เป็นพลังงานสิ้นความถี่ต่ำหรือแอมพลิฟูดการกระจัดสง และเน้นวงจรเชื่อมต่อที่ประจุใหม่ใช้ซ้ำได้ไม่รู้จัก วัสดุไฟอ์โซอิเล็กทริกที่เลือกใช้คือไฟอ์โซเซรามิกทางการค้าตระกูล pzt โครงสร้างทางกายภาพที่นำเซริกไปติดคือ คานติลิวอร์บีม ความยาวไม่เกิน 6 ซม. และมีไม่ต่ำกว่า 3 คาน ความถี่การสั่นของทุกคานอยู่ในช่วงต่ำกว่า 100 เอิร์ทซ์เป็นอย่างมาก การป้อนพลังงานกลให้คานมีแหล่งกำเนิดต่างๆกัน ะยะแรกโครงการให้แหล่งพลังงานกลมาจากเจนเนอเรเตอร์ในห้องปฏิบัติการ ต่อมาเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนไหวกดเป็นจังหวะเรียกชิ้นงานที่ได้ว่า เพาเวอร์แบงก์ จากนั้นเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์จากกระแสน้ำไหลวนรอบรัดวิดน้ำ พบว่ากำลังงานที่ผลิตได้อยู่ในระดับ 0.5 ไมโครวัตต์ พอเพียงสำหรับป้อนเซนเซอร์ไร้สายในทอพอโลยีแบบสตาร์ รับส่งข้อมูลในเครือข่ายในช่วงความถี่อินฟราเรดได้ไม่รู้จักตราบใดที่ยังมีกระแสน้ำไหลวนรอบระบบ

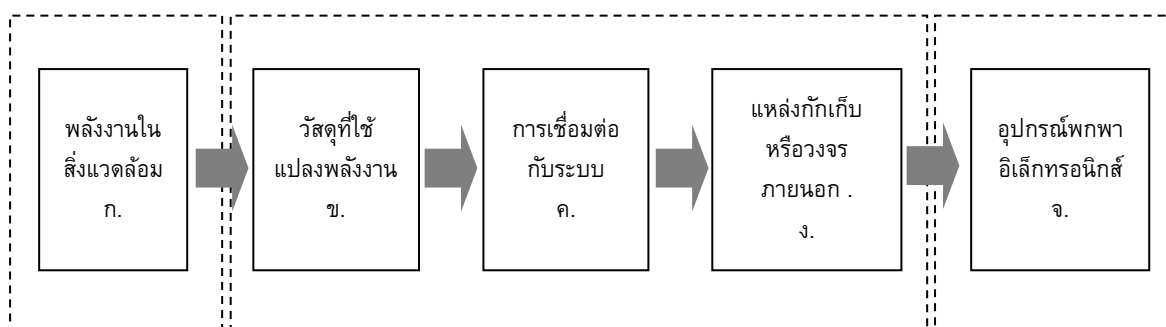
Abstract

This project has paid attention to an energy management composing various components from a transducer or piezoelectric materials, an energy storage, rectifier, voltage regulator, wireless sensor and its topology network. This includes surrounding kinetic energy, hence, low-frequency vibrational energy or high amplitude of displacement. Main focus is a rechargeable interfacing circuit that is able to continuous operating. Commercial piezoceramic of PZT is chosen. Physical structure for attaching the PZT is a cantilever beam of 6 cm in length for 3 beams. Operating or vibrational frequency is much lower than 100 Hz. An input mechanical energy is from a laboratorial generator. Subsequently, hand movement is applied and then the so-called power bank. Afterwards, a kinetic energy is from a turbulence surrounded water turbine. An output power of 0.5 mw is sufficient to feed a wireless sensor in a star topology. Transmitting and receiving data in the network in an IR range as long as the kinetic energy is still existed.

บทนำ

วิทยาการด้านการเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting) คือ กระบวนการนำพลังงานที่ปรากฏในสิ่งแวดล้อมมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถกักเก็บหรือป้อนให้แก่อุปกรณ์พกพาและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในระดับต่ำตั้งแต่ต่ำมากคือน้อยกว่า 1 วัตต์ลงไป ส่วนประกอบหลัก คือ ระบบที่ใช้แปลงพลังงาน และเทคนิคที่ช่วยนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ แหล่งพลังงานที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น แสง ความร้อน ลม และการสั่น เป็นต้น สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานอีกรูปได้ อย่างไรก็ตามระดับพลังงานของแต่ละรูปแบบแหล่งกำเนิดจะขึ้นอยู่กับสภาวะของสิ่งแวดล้อม และสถานที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจการแปลงพลังงานที่ได้จากการสั่นเชิงกล (vibration energy harvesting) เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีข้อดี คือ เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถพบได้ทุกที่ โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับแหล่งให้กำเนิดการสั่น (Hurlebaus and Gaul 2006) วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวพลังงาน คือ วัสดุไพโซอิเล็กทริกเนื่องจากให้ความหนาแน่นพลังงานต่อมวลที่สูงกว่าการใช้วิธี อิเล็กโตรสแตติก (electrostatic method) และวิธีอิเล็กโตรแมกเนติก (electromagnetic method) (Roundy et al. 2005)

การจัดการพลังงานในโครงการนี้ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญคือการเชื่อมต่อระหว่างวัสดุแปลงพลังงานกับโหลดหรืออุปกรณ์ภายนอก หากไม่มีการจัดการเชื่อมต่อด้วยวงจรจัดการพลังงานที่เหมาะสมแล้ว ยากที่จะนำพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้ไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 1 องค์ประกอบของการเก็บเกี่ยวพลังงาน ทิศการส่งผ่านพลังงานในระบบจาก 1 ไป 5

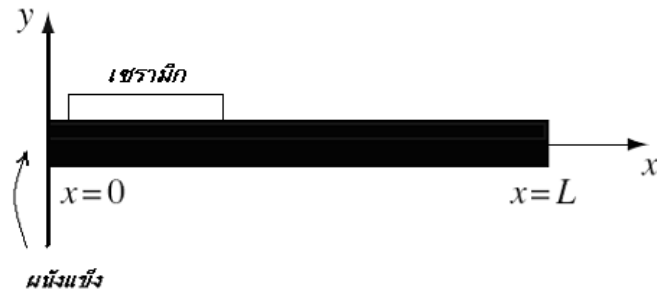
2. วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างโครงสร้างมีมคานติลิวอร์ที่กำหนดที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน
2. จัดการพลังงานทดแทนที่ได้ให้พอเพียงสำหรับการทำงานของอุปกรณ์และเครือข่ายไร้สาย

3. การตรวจเอกสาร

หลักการทางฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์เป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาใช้หมายถึงการกระทำทางกลต่อวัสดุบางชนิดก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าในวัสดุนั้น เมื่อจัดให้วัสดุนั้นต่อกับโหนดภายนอกก็จะทำให้วงจรไฟฟ้าครบวงจร จะเกิดความต่างศักย์ตกคร่อมโหนดมีผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าค่าหนึ่งแปรผันกับโหนด วงจรเชื่อมต่อกับมากมายหลายแบบ แบบพื้นฐานคือแบบมาตรฐาน (standard circuit) ประกอบด้วยวัสดุฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อโดยตรงกับตัวแปลงสัญญาณไฟสลับเป็นไฟตรง (AC-to-DC converter) ซึ่งประกอบด้วยไดโอดเรกติไฟเออร์ (diode rectifier) และตัวเก็บประจุ สัญญาณ DC จะเรียบดีหรือไม่ ขึ้นกับชนิดของไดโอดเรกติไฟเออร์และขนาดของตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับสัญญาณขาเข้า มีรายงานวงจรเชื่อมต่อชนิดอื่นๆที่นอกจากจะออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ใช้แปลงพลังงานแล้วศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านวงจรยังมีแอมพลิฟูด (ก่อนผ่านตัวแปลงสัญญาณ) มากกว่าแบบมาตรฐาน และสิ้นเปลืองพลังงานในวงจรต่ำ ทำให้เก็บเกี่ยวพลังงานได้มากโดยปริยาย ตามหลักการของวิธีนี้ มีการเชื่อมต่อระบบสวิทช์ไฟฟ้าและขดลวดตัวนำระหว่างวัสดุฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์กับตัวแปลงสัญญาณ AC เป็น DC สวิทช์จะเปิด (ไม่ทำงาน) จะทำงานก็ต่อเมื่อในขณะนั้น ศักย์ไฟฟ้าจากวัสดุฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ในช่วงสั้นๆที่สวิทช์ทำงานจะเกิดการากกลับ (ทิศ) ของศักย์ไฟฟ้า (voltage inversion) ซึ่งไม่มีในเทคนิคที่ใช้วงจรมาตรฐาน ศักย์ไฟฟ้ามกลับทำให้มีการเพิ่มพูนขึ้นของศักย์ไฟฟ้า ถ้าวงจรเชื่อมต่อกับโหนดที่เหมาะสม (optimal load) ก็จะได้กำลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อใช้วงจรมาตรฐานหลายเท่า (Guyomar et al, 2009)

โครงสร้างวิศวกรรมสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานมีสามแบบใหญ่ๆคือแบบคานติลิวอร์ แบบคิง หรือไดอะแฟรม (bender/ diaphragm) และแบบแผ่นแบน (patch / plate) แบบที่นิยมมากที่สุดคือแบบแรกและเป็นแบบที่ใช้ในโครงการนี้ รูปที่ 2 แสดงคานติลิวอร์ที่มีความยาวมากกว่าความหนาที่ต้องออกแบบให้เหมาะสมที่สุดเพื่อให้เกิดพลังงานสะสมในระบบมากที่สุด (Dewel, 2009)

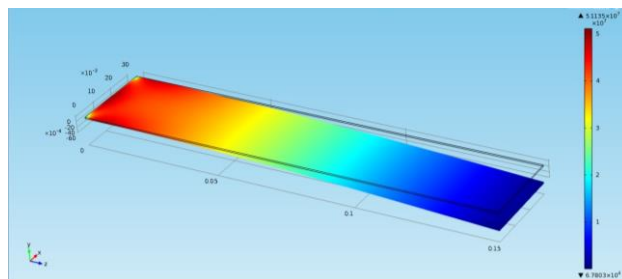


รูปที่ 2 บีมคานาคานติควอร์ตริงปลายข้างหนึ่งไว้ ในขณะที่อีกปลายหนึ่งเคลื่อนที่อิสระ การเบนของบีมในแนวแกน y มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการเบนในแนวแกน x และแกน z มีเซรามิกติดแน่นด้านบนและสั่นไปด้วยกันกับบีม

4. วิธีการทดลอง

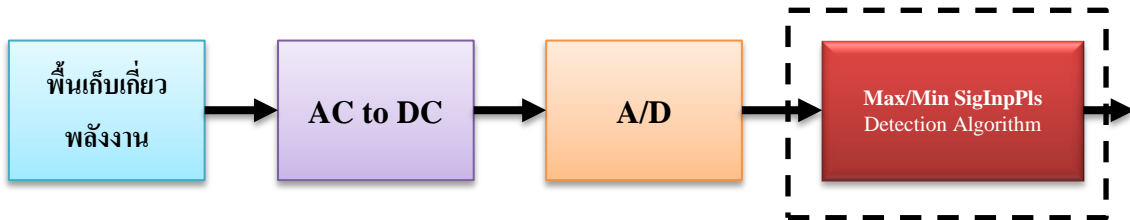
แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ บีม และ วางจร

ในส่วนของบีม การเก็บเกี่ยวพลังงานสั่นด้วยบีมคานาคานติควอร์ ปลายด้านหนึ่งยึดติดผนังแข็ง ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ วัสดุแปลงพลังงานคือเซรามิกไพเอโซอิเล็กทริก PZT ทางการค้า สร้างขึ้นตามแบบจำลองดังรูปที่ 3 ลักษณะคือประกบเซรามิกทั้งด้านบนและด้านล่างบีมยึดติดด้วยกาวนำไฟฟ้า เชื่อมต่อสายไฟระหว่างเซรามิกแต่ละคู่แบบขนานเรียกว่าโมดอพขนาน นำมาทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ป้อนพลังงานสั่นแก่บีมและเซรามิกไปพร้อมๆกัน

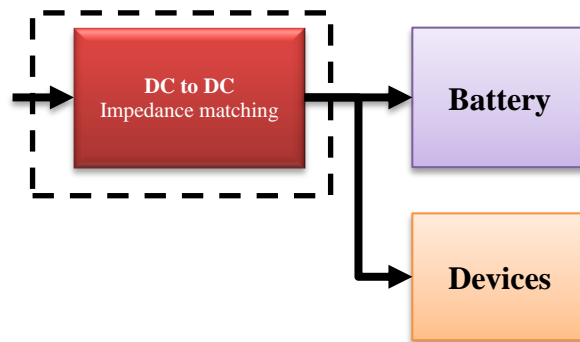


รูปที่ 3 แบบจำลองคานาสั่นที่ใช้ในการก่อกำเนิดพลังงานกลในงานวิจัย

ในส่วนของวงจรเชื่อมต่อได้มีการออกแบบโดยอาศัยอัลกอริทึมแทนด้วยไดอะแกรม ดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 ส่วนประกอบที่แสดงหน้าที่การทำงานของวงจร



รูปที่ 5 ส่วนประกอบที่แสดงหน้าที่การเก็บสะสมพลังงาน

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

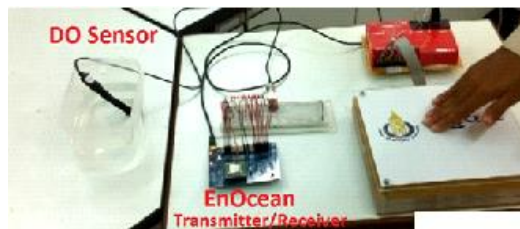
พบว่าบิมที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีความที่ทำงานอยู่ในระหว่าง 16-18 Hz ที่การกระจัดของปลายคาน 3 cm ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 29 v เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ นำไปผ่านวงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าตรง กำหนดกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ในช่วง 10k-10M Ω กำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่า 400-500 μ w หรือ 0.5 mw เมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้งานโดยอาศัยส่วนประกอบหลักคือวงจรเรียงกระแส และวงจรควบคุมแรงดัน ทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงและควบคุมปรับลดแรงดันไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่อุปกรณ์ทนได้ มีการประจุให้กับแบตเตอรี่ทุติยภูมิเพื่อใช้เป็นแบตเตอรี่สำรอง ในลักษณะนี้มีหลักการที่เกี่ยวข้องคือวงจรควบคุมแรงดันแบบสวิตชิ่ง เป็นกลไกนำส่งพลังงานไฟฟ้าจากตัวสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ไปยังแบตเตอรี่ทุติยภูมิ ในที่นี้มีขนาดของความจุไม่เกิน 150 mAh นำมาต่ออนุกรมกัน 2 ก้อนอนุกรมกัน จากแบบจำลองถ้าหากบิมหรือคานสั่นติดต่อกันนานประมาณ 40

ชั่วโมงจะสามารถประจุแบตเตอรี่เต็ม ใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ต้องการแรงดันไม่เกิน 5 v กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 300 mA เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ จากการทดลองใช้งานโทรศัพท์ได้นาน 2-3 นาที เหมาะสมสำหรับใช้งานยามฉุกเฉิน ในกรณีของเครือข่ายไร้สาย ได้นำโมดูลของ EnOcean (ดังรูปที่ 6) ซึ่งกินพลังงานต่ำมาต่อกับคานส์



รูปที่ 6 EnOcean module กินไฟต่ำ พลังงานจากคานส์ที่สร้างขึ้นพอเพียงพอวงจรโมดูลให้ทำงานได้ เช่น รับส่งข้อมูลไปกลับแบบไร้สายกับคอมพิวเตอร์เน็ตบุค

เมื่อโมดูลทำงานได้ จึงเลือกทอพอโลยีของเครือข่ายไร้สายแบบดาว หรือ star topology มี 3 โหนด (node) ซึ่งมีความซับซ้อนน้อย พลังงานที่แปลงได้จากสิ่งแวดล้อมจะไม่ถูกดูดกลืนหมด แต่จะเหลือให้ โหนดทำงานได้ การจัดการพลังงานนอกสถานที่ที่วางแผนไว้คือแหล่งน้ำที่มีกระแสไหลวนของน้ำ จึงมีการนำ DO sensor มาใช้งานกับชุดของคานส์ ดังรูปที่ 7 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ระบบการจัดการพลังงานเซนเซอร์ไร้สายจากการแปลงพลังงานจลน์ ภายในประกอบด้วยคานส์ ลิควอร์บีม วงจรเชื่อมต่อ ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 8 สัญญาณเอาร์ทพุทที่ได้เมื่อมือกดเพาเวอร์แบงค์เป็นจังหวะ

ขั้นตอนถัดไปคือการทำให้ระบบทำงานด้วยตัวเองหรือ self-powered device ช่วยลดจำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องใช้ในการทำงาน ช่วยยืดอายุแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในจำนวนที่น้อยลง ชิ้นงานที่ออกแบบสร้างขึ้นจะทำหน้าที่เป็น power bank ที่ใช้ประโยชน์แหล่งกำเนิดพลังงานจลน์ของน้ำรอบๆ power bank มาแปลงเป็นไฟฟ้าป้อนไมโครคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูล มีการทดสอบในสถานที่แหล่งน้ำจริงคือนาทุ่งดังรูปที่ 9 พบว่าสามารถรับส่งสัญญาณค่าออกซิเจนและเปิดปิดกังหันในช่วงความถี่วิทยุได้

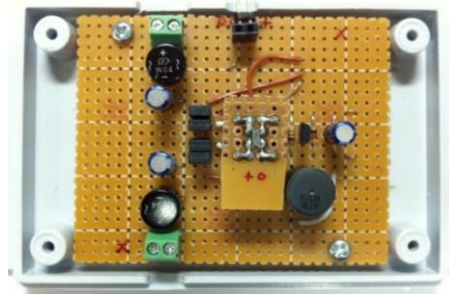


รูปที่ 9 การทดลองใน นาทุ่ง ในอำเภอเทพา ต้องมีกังหันตีผิวน้ำเพิ่มปริมาณออกซิเจน (อนุเคราะห์พื้นที่โดย คุณสุกิจ วัริยะพงษ์สุกิจ)

6. สรุปผลการทดลอง

การรับส่งข้อมูลระหว่าง DO sensor และหน่วยประมวลผลในคอมพิวเตอร์บนฝั่งพบว่า มีประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

- สามารถพัฒนาให้ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานแทนที่หรือลดการใช้แบตเตอรี่ที่มีอยู่ในเซนเซอร์ชนิด
- ลดค่าใช้จ่ายการติดตั้งอุปกรณ์สายสัญญาณ ท่อเดินสายสัญญาณ เป็นต้น
- ลดค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาอุปกรณ์การแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับแบตเตอรี่หรือเปลี่ยนแบตเตอรี่
- แก้ปัญหาเครื่องมือที่ต้องทำงานอย่างต่อเนื่องในสถานที่เข้าถึงยากและมีอันตราย
- เพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ระยะเวลาและต่อเนื่อง (long-term solution) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเก็บและบันทึกข้อมูลเพื่อการตรวจสอบและเฝ้าเตือน (monitoring) ช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตและทำลายแบตเตอรี่ อีกทั้งช่วยลดการสิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในขั้นตอนการผลิตและทำลายแบตเตอรี่เช่นกัน



รูปที่ 10 วงจรจัดการพลังงานจากโครงการนี้ที่ต้องการต่อยอดเชิงพาณิชย์

7. เอกสารอ้างอิง/ บรรณานุกรม

- Piezoelectric Ceramics [PIEZOTITE] sensors. *Kyoto: Murata Manufacturing Co., Ltd.*, 2008.
- Dewel, J., & Jing, L. (2009). Human power-based energy harvesting strategies for mobile electronic devices. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 3(1), 27-46.
- Gullot, F. M., & Ballizer, E. (2003). Electrostrictive effect in polyurethanes. *Journal of Applied Polymer Science*, 89, 399-404.

Guyomar, D., Lebrun, L., Putson, C., Cottinet, P.-J., Guilford, B., & Muensit, S. (2009). Electrostrictive energy conversion in polyurethane nanocomposites. *Journal of Applied Physics*, 106, 014910.

Guyomar, D. and Lallart, M. (2011) Recent progress in piezoelectric conversion and energy harvesting using nonlinear electronic interfaces and issues in small scale implementation, micromachines. 2[2], 274-294.

8. ข้อคิดเห็นงานวิจัยต่อไป

ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ซีพวงจรรวม (integrated circuit หรือ IC หรือ chip) มีขนาดลดลง มีความสามารถในการทำงานสูงขึ้น และใช้พลังงานต่ำลงพบได้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า ระบบสมองกลฝังตัว (embedded system) การลดขนาดของวงจรจัดการพลังงานได้จะช่วยให้อายุการใช้งานของระบบทั้งระบบลดลงและสะดวกต่อการต่อขยายเชิงพาณิชย์

9. มีโครงการวิจัยต่อยอด 1 เรื่องคือ ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้า-กลเพื่อรองรับกายอุปกรณ์เพื่อการรักษาและผู้สูงอายุที่ผนวกเข้ากับเทคโนโลยีแปรรูปยางเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรไทย
ทุน co-research กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

10.ภาคผนวก **อนุสิทธิบัตร**เลขที่คำขอ 1403000772 เรื่อง ระบบการจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการทางไพโซอิเล็กทริก สำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ได้ทำสัญญาโอนสิทธิให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อ 1 กรกฎาคม 2559

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโพโซอิเล็กทริกสำหรับ
อุปกรณ์ให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า

5 สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมไฟฟ้าส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันล้วนเกี่ยวข้องกับพลังงานหนึ่งโน้มนั้นคือ พลังงานกล (mechanical
energy) พลังงานกลทำให้เกิดการสั่นและสามารถเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมพื้นฐานทั่วไป เช่น การเดิน การชก
แขนขา หรือแม้แต่การพูดคุย พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมดังกล่าวมักถูกสะสมและปล่อยทิ้งไปโดยเปล่า
ประโยชน์ ทางออกหนึ่งสำหรับการทำให้พลังงานดังกล่าวเกิดประโยชน์มากขึ้นคือ การนำพลังงานกลจากการ
สั่นมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความจำเป็นอย่างสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้
งานกันทั่วไปในการชีวิตประจำวันได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์ติดตามตัวเพื่อส่งข้อมูลสำหรับผู้ป่วยใน
โรงพยาบาล เครื่องช่วยฟังสำหรับผู้สูงอายุ เครื่องส่งสัญญาณจีพีเอส (GPS module) สำหรับติดตาม
ยานพาหนะ นาฬิกาข้อมือแบบดิจิทัล เครื่องคิดเลข เป็นต้น

จากงานวิจัยพบว่าหลักการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีเช่น หลักการ
ขดลวดเหนี่ยวนำ (electromagnetic) หลักการไฟฟ้าสถิต (electrostatic) และหลักการโพโซอิเล็กทริก
(piezoelectric) ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบแตกต่างกันอธิบายพอสังเขปดังนี้ ขดลวด
เหนี่ยวนำเป็นหลักการที่ให้พลังงานสูงกว่าหลักการอื่นแต่การผลิตวัสดุเปลี่ยนรูปพลังงานมีข้อจำกัดด้านขนาด
หากต้องการทำให้มีขนาดเล็กมากหลักการไฟฟ้าสถิตเป็นหลักการที่สามารถผลิตอุปกรณ์เปลี่ยนรูปพลังงานให้
มีขนาดเล็กมากได้แต่การทำงานในครั้งแรกต้องจ่ายประจุไฟฟ้าเริ่มต้นเพื่อกระตุ้นการทำงาน และสุดท้าย
หลักการโพโซอิเล็กทริกสามารถทำให้ขนาดเล็กและเล็กมากได้ อยู่ในระดับเดียวกับหลักการไฟฟ้าสถิตแต่
ระดับพลังงานยังไม่สูงเทียบเท่าหลักการขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดเดียวกัน อย่างไรก็ตามระดับ
พลังงานดังกล่าวสามารถทำให้อุปกรณ์สื่อสารขนาดเล็กใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงไมโครวัตต์ถึงมิลลิวัตต์สามารถ
ทำงานได้ดีซึ่งทั้งสามวิธีทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเทียบเท่าหรือดีกว่าหลักการขดลวดเหนี่ยวนำโดยอาศัย
เทคนิคทางวงจรไฟฟ้าเข้ามาช่วย

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางไพโซอิเล็กทริกสำหรับ
อัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า

5 สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมไฟฟ้าส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันล้วนเกี่ยวข้องกับพลังงานหนึ่งในนั้นคือ พลังงานกล (mechanical
energy) พลังงานกลทำให้เกิดการสั่นและสามารถเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมพื้นฐานทั่วไป เช่น การเดิน การขยับ
แขนขา หรือแม้แต่การพูดคุย พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมดังกล่าวมักถูกกลืนและปล่อยทิ้งไปโดยเปล่า
ประโยชน์ ทางออกหนึ่งสำหรับการทำให้พลังงานดังกล่าวเกิดประโยชน์มากขึ้นคือ การนำพลังงานกลจากการ
สั่นมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้
งานกันทั่วไปในการชีวิตประจำวันได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์ติดตามตัวเพื่อส่งข้อมูลสำหรับผู้ป่วยใน
โรงพยาบาล เครื่องช่วยฟังสำหรับผู้สูงอายุ เครื่องส่งสัญญาณจีพีเอส (GPS module) สำหรับติดตาม
ยานพาหนะ นาฬิกาข้อมือแบบดิจิทัล เครื่องคิดเลข เป็นต้น

จากการวิจัยพบว่าหลักการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีเช่น หลักการ
ขดลวดเหนี่ยวนำ (electromagnetic) หลักการไฟฟ้าสถิต (electrostatic) และหลักการไพโซอิเล็กทริก
(piezoelectric) ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบแตกต่างกันอธิบายพอสังเขปดังนี้ ขดลวด
เหนี่ยวนำเป็นหลักการที่ให้พลังงานสูงกว่าหลักการอื่นแต่การผลิตวัสดุเปลี่ยนรูปพลังงานมีข้อจำกัดด้านขนาด
หากต้องการทำให้มีขนาดเล็กมากหลักการไฟฟ้าสถิตเป็นหลักการที่สามารถผลิตอุปกรณ์เปลี่ยนรูปพลังงานให้
มีขนาดเล็กมากได้แต่การทำงานในครั้งแรกต้องจ่ายประจุไฟฟ้าเริ่มต้นเพื่อกระตุ้นการทำงาน และสุดท้าย
หลักการไพโซอิเล็กทริกสามารถทำให้ขนาดเล็กและเล็กมากได้ อยู่ในระดับเดียวกับหลักการไฟฟ้าสถิตแต่
ระดับพลังงานยังไม่สูงเทียบเท่าหลักการขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเดียวกัน อย่างไรก็ตามระดับ
พลังงานดังกล่าวสามารถทำให้อุปกรณ์สื่อสารขนาดเล็กใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงไมโครวัตต์ถึงมิลลิวัตต์สามารถ
ทำงานได้ดีซึ่งทั้งสามการทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเทียบเท่าหรือดีกว่าหลักการขดลวดเหนี่ยวนำโดยอาศัย
เทคนิคทางวงจรไฟฟ้าเข้ามาช่วย

แหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานกลจากสภาพแวดล้อมผ่าน
การจัดการพลังงานโดยอาศัยวงจรที่ออกแบบให้เข้ากับหลักการดังกล่าวจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโพสิโตรีอิกสำหรับ
5 อิตประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วย 7 ส่วนหลัก คือ ส่วนประกอบที่ 1
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงซึ่งเป็นวงจรที่รองรับกระแสไฟฟ้าที่ได้จากวิธีทาง
โพสิโตรีอิกหรือกรังเจอร์นี้เชื่อมต่อแบบอนุกรมกับแหล่งจ่ายพลังงานจากวัสดุโพสิโตรีอิกหรือกรังเจอร์นอกจากนี้ยัง
เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานเสริมซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ 2 ส่วนนี้ได้เชื่อมต่อโดยตรงแบบอนุกรมอยู่ภายใน
ระบบวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงได้เชื่อมต่อกับส่วนจัดการพลังงานหลักซึ่งเป็น
10 ส่วนประกอบที่ 3 โดยเชื่อมต่อแบบอนุกรมวงจรส่วนนี้ทำหน้าที่จัดการพลังงานซึ่งจำเป็นต้องใช้ทั้งในและนอก
ระบบ โดยส่วนนี้จะมีส่วนวงจรและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมเข้าด้วยกันได้แก่ อุปกรณ์กับสะพานพลังงานเสริม
แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ และวงจรประจุไฟฟ้าให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ 4 ส่วนประกอบ
ที่ 5 และส่วนประกอบที่ 6 ตามลำดับ สุดท้ายส่วนประกอบที่ 7 เป็นส่วนแสดงผลของระดับพลังงานของ
แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้

15 ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้เพื่อจัดการพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานกลเป็น
พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทางวัสดุโพสิโตรีอิกหรือกรังเจอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้อุปกรณ์
สื่อสารไร้สายและสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานเพื่อนำไปใช้งานในยามจำเป็นอีกทั้งสามารถ
ประจุพลังงานไฟฟ้าให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งวิธีการนี้ไม่ต้องพึ่งพาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกและยัง
ช่วยแก้ปัญหาการขาดความต่อเนื่องด้านการได้รับการกระตุ้นพลังงานจากภายนอกของแหล่งต้นกำเนิด
20 พลังงานกลโดยอาศัยการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดผ่านสถาปัตยกรรม
การจัดการพลังงานที่ได้ออกแบบให้รองรับปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาระบบให้สอดคล้องต่อการ
ย่อส่วนชิ้นงานไปสู่รูปแบบการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่1 แสดงแผนภาพองค์ประกอบภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่การทำงานในแต่ละส่วนของทั้ง
25 ระบบ

รูปที่2 แสดงแผนภูมิการทำงานในระบบในขั้นตอนที่แสดงถึงลำดับการจัดการพลังงาน

รูปที่3 แสดงแผนภาพองค์ประกอบเฉพาะวงจรส่วนจัดการพลังงานซึ่งแสดงถึงหน้าที่การทำงานที่ออกแบบไว้
ภายใน

รูปที่4 แสดงแผนภาพองค์ประกอบเฉพาะวงจรส่วนประจุกระแสไฟฟ้าซึ่งแสดงถึงหน้าที่การทำงานที่ออกแบบไว้ภายใน

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสถาปัตยกรรมที่อยู่ภายในระบบเปลี่ยนรูปพลังงานอย่างง่ายซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์และวงจรที่เหมาะสมกับระบบเปลี่ยนรูปพลังงานที่ให้กำลังไฟฟ้าในระดับต่ำเพื่อรองรับการผลิตวงจรรวมในแบบที่มีหน้าที่การทำงานแบบเฉพาะเจาะจง (specific functional integrated circuit หรือ specific functional IC) เพื่อการพัฒนาไปสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

จากรูปที่1 แสดงส่วนประกอบของทั้งระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางฟิสิกส์เชิงกลสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายสลับเป็นพลังงานต่ำ ซึ่งแบ่งออกเป็นสามกลุ่มหลักๆ ตามหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ทั้ง 7 ส่วนประกอบ ได้แก่ กลุ่มที่1เป็นส่วนประกอบของระบบที่ประกอบด้วยส่วนให้กำเนิดพลังงานหรือพลังงานขาเข้า (energy input) ของระบบซึ่งได้จากวัสดุที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานกลเป็นไฟฟ้าโดยอาศัยการสั่นจากภายนอกเป็นตัวกระตุ้น (vibration/electrical energy generator) หรือส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) และส่วนพลังงานขาออก (energy output) ที่นำเสนอในรูปแบบของการใช้งานโดยการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ซึ่งผ่านการจัดการเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอาศัยอุปกรณ์ต่อพ่วงได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile phone) (2) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronics devices) (3) กลุ่มที่2เป็นอุปกรณ์สนับสนุนเพื่อการจัดการพลังงานทำให้เกิดความต่อเนื่องของพลังงานขาเข้าและความต่อเนื่องของพลังงานขาออกได้แก่ ส่วนแสดงผลซึ่งทำหน้าที่แสดงระดับพลังงานของแบตเตอรี่หรือวงจรแสดงระดับพลังงานแบตเตอรี่ (battery status module) (11) ผ่านรูปแบบการแสดงผลแบบพื้นฐานด้วยแอลอีดี อีกทั้งยังมีการเพิ่มความสามารถด้านการสื่อสารไร้สายเพื่อการแสดงผลผ่านอุปกรณ์สื่อสารที่เข้าถึงใช้งานและซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบัน รวมไปถึงอุปกรณ์ซึ่งรองรับการแสดงผลที่สามารถสื่อสารแบบไร้สายรูปแบบต่างๆ จากรูปที่4 ระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย (wireless Tx/Rx system) (37) แหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (extended generator) (10) และแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (rechargeable battery) (8) เชื่อมต่อโดยตรงกับส่วนประกอบหลักสุดท้ายคือ กลุ่มที่3ซึ่งภายในส่วนนี้มีการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับพหุขาเข้าจากกลุ่มที่1และกลุ่มที่2แล้วส่งต่อผลลัพธ์ของการจัดการหรือพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง กลุ่มที่3ประกอบด้วยสามวงจรหลักได้แก่ วงจรเรียงกระแส (rectifier module) (9) วงจรจัดการพลังงาน (energy management module) (5) วงจรประจุแบตเตอรี่ (battery charging module) (6) และอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (extended storage) (7) จากการจัดกลุ่มตามหน้าที่การทำงานภายในระบบกลุ่มที่2และกลุ่มที่3คือ ระบบจัดการพลังงาน

(energy management system) (4) และกลุ่มที่ 3 คือ ส่วนรวมวงจรระบบ (integrated energy management system) (0) โดยที่ระบบนี้จะเชื่อมต่อกับระบบ (20) ร่วมกับส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อในกลุ่มอื่นๆ ส่วนประกอบย่อยในแต่ละส่วนได้อธิบายตามลำดับการทำงานไว้ดังนี้

วงจรเรียงกระแส (9) บรรจุอยู่ในกลุ่มที่ 3 หรือส่วนรวมวงจรระบบ (0) วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่ปรับ
5 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเปลี่ยนรูปพลังงานซึ่งมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับโดยเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยสองเส้นทางเลือกผ่านไดโอด สัญญาณหลักจากตัวกระตุ้นภายนอก ส่วนประกอบนี้สามารถติดตั้ง
ได้ทั้งแบบอนุกรมและขนานเพื่อเพิ่มความสามารถการเปลี่ยนรูปพลังงานและเพื่อความยืดหยุ่นในการติดตั้ง
รวมถึงการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting) ทำการเชื่อมต่อผ่านช่องสัญญาณโฟลตัส
(12) ไปยังช่องสัญญาณกั้นการย้อนกลับ (13) และแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) ออกแบบมาเพื่อเป็น
10 ตัวกระตุ้นพลังงานรองรับความถี่การสั่นต่ำมากเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ขณะไม่มีแหล่งกระตุ้นจาก
ภายนอกผ่านช่องสัญญาณรองรับโฟลตัสและโฟตรง (23) อีกทั้งเพื่อวัตถุประสงค์การป้องกันความเสียหายแก่
อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) ที่อยู่ภายใน กลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion)
ควรมีประจุขั้นต่ำภายในแบตเตอรี่ตลอดเวลา

พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านการเรียงกระแสจะเข้าสู่วงจรจัดการพลังงาน (5) ผ่านช่องสัญญาณโฟตรงอย่าง
15 เดี่ยว (14) เป็นพลังงานขาเข้าของวงจรนี้ นอกจากนี้ช่องสัญญาณที่สามารถส่งผ่านจากวงจรนี้ยังส่วนประกอบ
อื่นอีกได้ด้วยสองช่องสัญญาณไดโอด ช่องสัญญาณโฟตรงสองทิศทาง (22) และช่องสัญญาณโฟตรงสองทิศทาง
เข้าและออกภายนอก (21) ซึ่งทำหน้าที่แบบสองทิศทาง (bidirectional port) ทั้งทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาเข้า
และขาออกได้ในขณะเดียวกัน และอีกสองช่องสัญญาณซึ่งทำหน้าที่แบบทิศทางเดียว (unidirectional port)
ไดโอด ช่องสัญญาณโฟตรงภายใน (15) และช่องสัญญาณโฟตรงภายนอก (16) โดยทำหน้าที่เป็นสัญญาณขา
20 ออก โดยที่ช่องสัญญาณโฟตรงภายใน (15) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาออกที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิด
ประจุซ้ำได้ (8) เพื่อเลี้ยงวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) ส่วนสัญญาณขาเข้าจะเข้าสู่กระบวนการพิจารณาเส้นทาง
การไหลของสัญญาณจากแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ซึ่งผ่านส่วนวงจรจัดการพลังงาน (5) ที่จะทำหน้าที่
ประจุกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (2) อีกช่องสัญญาณในรูปแบบสัญญาณขาออกคือ
ช่องสัญญาณโฟตรงภายนอก (16) โดยอาศัยพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับหล่อเลี้ยง
25 อุปกรณ์ต่อพ่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบแหล่งจ่ายแรงดันคงที่เพื่อขับเคลื่อนการทำงานงาน
ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) นอกจากนี้ในขณะที่ระบบไม่มีระดับพลังงานเพียงพอเพื่อใช้งานในสองรูปแบบ
ทั้งการประจุกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และการเป็นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่เพื่อ
ขับเคลื่อนการทำงานงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แหล่งพลังงานเสริมอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน
(7) และแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ปรากฏจากพลังงานสะสมช่องทางทั้งสองนี้ ช่องสัญญาณโฟตรงภายใน

(15) และช่องสัญญาณไฟตรงภายนอก (16) ก็ยังคงสามารถทำงานได้โดยปกติโดยใช้ความสามารถของอุปกรณ์ ส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) และแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) ภายใต้เงื่อนไขการได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่องและแรงกระตุ้นเพียงพอ

จากการอธิบายรูปที่ 1 การเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่มมีลำดับดังนี้ ส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) อาศัยพลังงานกลเป็นตัวกระตุ้นพลังงานระบบจะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้าอาศัยวิธีทางโพสิโตรีอิกหรือไดนาโมซึ่งเป็นได้ทั้งวัสดุชนิดโพสิโตรีอิกและโพสิโอเซรามิกและรูปแบบวัสดุผสมระหว่างเซรามิกกับพอลิเมอร์และเป็นได้ทั้งรูปแบบอื่นๆที่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางโพสิโอไดนาโมซึ่งเชื่อมต่อกับระบบการจ่ายพลังงาน (4) ส่วนนี้มีหน้าที่จัดการพลังงานที่ได้จากส่วนให้กำเนิดพลังงาน แล้วส่งต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านการจัดการตามความต้องการใช้งานของอุปกรณ์ปลายทางคือ โทรศัพทเคลื่อนที่ (2) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) ซึ่งทั้งสองเชื่อมต่อกับระบบการจ่ายพลังงาน (4) อีกทั้งระบบจัดการพลังงาน (4) ซึ่งภายในระบบประกอบด้วยช่องสัญญาณรับพลังงานขาเข้าโดยผ่านวงจรเรียงกระแส (9) เชื่อมต่อกับแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) และเชื่อมต่อกับระบบการจ่ายพลังงาน (5) ส่วนพลังงานขาออกที่เชื่อมต่อกับระบบการจ่ายพลังงาน (5) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) และส่วนเก็บสะสมพลังงานทั้งสองได้แก่ อุปกรณ์แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) และอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) และชุดท้ายวงจรจัดการพลังงาน (5) ต่อเชื่อมกับวงจรประจุแบบต่อเนื่อง (6) และพลังงานขาออกจากวงจรประจุแบบต่อเนื่อง (6) ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบการจ่ายพลังงานกับโทรศัพทเคลื่อนที่ (2)

จากรูปที่ 2 แผนภูมิการทำงานในระบบในขั้นตอนที่แสดงถึงลำดับการจัดการพลังงานภายในระบบ ขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นจากกล่องข้อความเริ่มต้น (51) และสิ้นสุดที่กล่องข้อความสิ้นสุด (60) อุปกรณ์และวงจรภายในระบบจะตรวจสอบระดับพลังงานโดยอาศัยการวัดค่าทางไฟฟ้าเพื่อทราบสถานะทางไฟฟ้าในขณะนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการการเลือกทำไปตามเงื่อนไขตามที่ได้กำหนดไว้

การเริ่มต้นการทำงานของระบบจะเข้าสู่กระบวนการตั้งค่าสถานะเริ่มต้น (52) ที่ทำหน้าที่วัดค่าทางไฟฟ้าและแสดงสถานะขณะนั้น สถานะต่างๆในลำดับนี้จะใช้เป็นปัจจัยกำหนดเงื่อนไขการทำงานในกระบวนการลำดับถัดไปซึ่งระบบเริ่มต้นทำงานโดยอาศัยพลังงานจากอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) หรือแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) หรือพลังงานที่ได้จากการสั่นอย่างต่อเนื่องและเพียงพอถึงเงื่อนไขในรอบเลือกทำงานกำลังสั่นหรือไม่ (53) อุปกรณ์วงจรจัดการพลังงาน (5) ทำหน้าที่วิเคราะห์สถานะปัจจุบันว่าระบบกำลังสั่นอยู่หรือไม่ ในกรณีที่มันเป็นจริงระบบจะเข้าสู่กระบวนการเลือกทำงานกำลังสั่นต่อเนื่องหรือไม่ (54) หรือในกรณีที่มันเป็นเท็จจะเข้าสู่กระบวนการเลือกทำงานมีพลังงานเพียงพอหรือไม่ (55)

ในกรณีแรกการสั้นอย่างต่อเนื่องซึ่งมีพลังงานจากส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) หรือแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) เพียงพอ แต่ในขณะที่อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) และแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ไม่มีพลังงานเพียงพอต่อการเริ่มต้นเพื่อกระตุ้นการทำงานของวงจรจัดการพลังงาน (5) ระบบจะกำหนดทิศทางพลังงานไหลของพลังงานไฟฟ้าไปยังช่องสัญญาณไฟตรงภายใน (15) และช่องสัญญาณไฟตรงภายนอก (16) ดังกรอบกระบวนการใช้พลังงานขณะสั้นโดยตรง (58)

และในอีกกรณีหากมีการสั้นไม่ต่อเนื่องทำให้พลังงานจากส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) หรือแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) ไม่เพียงพอ และขณะที่อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) หรือแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ไม่มีพลังงานเพียงพอต่อการเริ่มต้นเพื่อกระตุ้นการทำงานของวงจรจัดการพลังงาน (5) ระบบจะกำหนดทิศทางพลังงานไหลของพลังงานไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) และแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ดังกรอบกระบวนการประจุแบบเสถียรภายใน และตัวเก็บสะสมพลังงานเสริมในระบบ (59)

นอกจากนี้หากเป็นเงื่อนไขที่ไม่มีการสั้นหรือแหล่งกำเนิดไม่ได้รับพลังงานนอกจากภายนอกทำให้ไม่มีพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบนั้นคืออุปกรณ์ส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) หรือแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) ไม่มีพลังงานเพียงพอ แต่ขณะเดียวกันอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) หรือแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) กลับมีพลังงานเริ่มต้นเพียงพอเพื่อกระตุ้นการทำงานของวงจรจัดการพลังงาน (5) ระบบจะกำหนดทิศทางพลังงานไหลของพลังงานไฟฟ้าไปยังช่องสัญญาณไฟตรงภายใน (15) และช่องสัญญาณไฟตรงภายนอก (16) โดยอาศัยกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ดังกรอบกระบวนการใช้พลังงานจากที่เก็บสะสม (57)

และกรณีสุดท้ายที่อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันคือ อุปกรณ์ส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) หรือแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) ไม่มีพลังงานเพียงพอเนื่องจากไม่ได้รับพลังงานก่อกวที่เหมาะสมและไม่สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ อีกทั้งอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) หรือแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ก็ไม่มีพลังงานเพื่อจ่ายให้กับวงจรจัดการพลังงาน (5) เพื่อเริ่มต้นการทำงานเช่นกัน ดังกรอบกระบวนการส่งค่าระบบคืน (56) ดังนั้นระบบจะกลับไปสู่กระบวนการเริ่มต้น (51) อีกครั้ง

จากรูปที่ 3 แผนภาพองค์ประกอบเฉพาะวงจรส่วนจัดการพลังงานซึ่งเป็นส่วนประกอบในระบบอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ ส่วนประกอบที่ 1 คือ วงจรเรียงกระแส (9) โครงสร้างภายในยังคงเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยที่ก้าถึงไฟฟ้าที่ได้จากระบบเก็บเกี่ยวพลังงานแปรผันตามความเค้นกล ทำให้ค่าแรงดันคงที่ผ่านช่องสัญญาณไฟตรงภายในก่อนบัพเฟอร์ (27) เข้าสู่วงจรควบคุมแรงดันเกิน (buffer module) (26) เพื่อป้องกันความเสียหายแก่วงจรอื่น ๆ ภายในระบบ จากอุปกรณ์ดังกล่าวก้าถึงไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะเข้าสู่วงจรสร้าง

สัญญาณนาฬิกาหรือสัญญาณพัลส์ (pulse generator module) (35) เพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สร้างความถี่
 ตามหลักการสวิตชิ่ง รับพลังงานไฟฟ้าผ่านทางช่องสัญญาณขนานจ่ายไฟให้วงจรสร้างพัลส์ (28) และอีกส่วน
 หนึ่งจะถูกส่งผ่านทางช่องสัญญาณหลักกำลังไฟเก็บเกี่ยวพลังงาน (29) เข้าสู่วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน
 (energy harvesting module) (24) ทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดัน และปรับความต้านทานที่สอดคล้องกัน
 5 ระหว่างแหล่งจ่ายกับอุปกรณ์ปลายทางคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) ซึ่งเป็นช่องทางของพลังงานหลักของ
 ระบบซึ่งเป็นช่องทางของพลังงานขาออก หลังจากนั้นเข้าสู่ช่องสัญญาณหลักผ่านการจัดการพลังงาน (33) เพื่อ
 นำไปสู่ส่วนกำหนดทิศทางเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านการจัดการไปใช้งานคือโดยอาศัยวงจรการเลือกและการ
 ประมวลผล (selector and processor module) (25) ถัดจากส่วนนี้จะมีช่องสัญญาณขาออกไปยังเส้นทาง
 ของสัญญาณทั้งสี่เส้นทางโดยการเลือกเพียงหนึ่งหรือสองหรือสามหรือสี่เส้นทางตามความเหมาะสมของระดับ
 10 พลังงานซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์จากส่วนวงจรการเลือกและการประมวลผล (25) กระบวนการดังกล่าวได้
 อธิบายไว้ในรูปที่ 2 ช่องทางดังกล่าวได้แก่ ช่องสัญญาณไฟตรงสองทิศทางภายใน (30) ช่องสัญญาณไฟตรง
 ภายในขาออก (31) ช่องสัญญาณไฟตรงสองทิศทางเข้าและออกภายใน (32) และช่องสัญญาณไฟตรงภายใน
 ขาออกสู่วงจรดิจิทัล (34) อันนำไปสู่อุปกรณ์และส่วนประกอบคือ อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน
 (7) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) และวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) ตามลำดับ

15 จากรูปที่ 4 แผนภาพองค์ประกอบเฉพาะวงจรส่วนประจุกะแสไฟฟ้าวงจรถ่วงน้ำหนักประกอบด้วย
 ส่วนประกอบของวงจรประจุกะแสไฟฟ้าและวงจรส่งสัญญาณแบบไร้สายเข้าด้วยกันทั้งนี้เพื่อการเชื่อมต่อกับ
 อุปกรณ์ในกลุ่มสมาร์ตโฟน (smart phone) อีกทั้งเพื่อส่งข้อมูลของระดับพลังงานและผลการทำงานของ
 ระบบซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแสดงผลที่สามารถรองรับระบบปฏิบัติการรูปแบบต่างๆของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้งาน
 กันอยู่ในปัจจุบันและในอนาคต ระบบนี้มีส่วนประกอบคือ แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ซึ่งเป็นส่วนประกอบ
 20 ที่เชื่อมต่อกับวงจรจัดการพลังงาน (5) (จากส่วนก่อนหน้า โดยรูปที่ 1 ประกอบ) ผ่านระบบการจัดการและ
 ควบคุมพลังงานโดยเข้าทางช่องสัญญาณไฟตรงสองทิศทางเข้าและออกภายใน (32) และออกจากวงจรจัด
 การพลังงาน (5) ผ่านเข้าสู่ส่วนวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) โดยอาศัยช่องสัญญาณไฟตรงภายในขาออกสู่วงจร
 ประจุ (34)

ภายในประกอบด้วยช่องสัญญาณแรงดันอ้างอิงเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ (43) และช่องสัญญาณ
 25 กำลังไฟหลักก่อนอนุมัติผ่านสวิตช์ (40) ช่องสัญญาณแรงดันอ้างอิงเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ (43) ทำหน้าที่ส่ง
 สัญญาณไปยังวงจรวัดระดับแรงดัน(voltage comparator module) (48) เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของ
 แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) ส่วนช่องสัญญาณกำลังไฟหลักก่อนอนุมัติผ่านสวิตช์ (40) จะนำกระแสไฟฟ้า
 ไปสู่วงจรถัดไปผ่านสวิตช์ก่อนวงจรควบคุมแรงดัน (38) ซึ่งถูกควบคุมการไหลโดยการเปิดและปิดสวิตช์ผ่าน

ทางช่องสัญญาณควบคุมกระแสประจุอุปกรณ์ (42) และไหลผ่านช่องทางขาเข้าวงจรควบคุมระดับแรงดัน (41) แสดงผลของระดับพลังงานดังกล่าวผ่านสองช่องทาง ช่องทางแรกคือ วงจรแสดงระดับพลังงานแบบแคปซิทอร์ (11) วงจรวัดระดับแรงดันสามารถแสดงผลในรูปแบบแอลอีดี (LED) อาศัยช่องสัญญาณแสดงระดับพลังงานภายใน (49) ช่องสัญญาณแสดงระดับพลังงานภายนอก (18) อีกช่องทางหนึ่งแสดงผลโดยผ่านทางจออุปกรณ์สื่อสารที่

5 เชื่อมผ่านระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย (37) โดยอุปกรณ์นี้จะใช้พลังงานจากวงจรควบคุมระดับแรงดัน (voltage regulator module) (36) และระบบนี้มีไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฝังบนสายวงจรรวม (19)

รูปที่ 2 ได้อธิบายการเลือกเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยวงจรการเลือกและการประมวลผล (25) ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมกับทุกส่วนของวงจรที่มีการเลือกเส้นทางของแต่ละช่องสัญญาณ กล่าวคือ พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านทางช่องสัญญาณไฟตรงภายในขาออกสู่วงจรวัดประจุ (34) จะผ่านเข้าสู่ส่วน

10 วงจรควบคุมระดับแรงดัน (36) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดันและปรับความต้านทานที่สอดคล้องกับระหว่างแหล่งจ่ายกับอุปกรณ์ปลายทางหรือโหลดที่เคลื่อนที่ (2) ผ่านทางช่องสัญญาณพลังงานไฟฟ้าขาออกหลักภายใน (47) และช่องทางเชื่อมต่อภายนอกทางช่องสัญญาณพลังงานไฟฟ้าขาออกหลักภายนอก (17) เมื่อมีระดับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับวงจรควบคุมระดับแรงดัน (36) และสามารถประจุกระแสไฟฟ้าให้กับ

15 โหลดที่เคลื่อนที่ (2) ได้อุปกรณ์สวิตช์ก่อนวงจรควบคุมแรงดัน (38) ที่ควบคุมโดยกระบวนการในรูปที่ 2 จะเปิดและปิดการทำงานให้สอดคล้องกับเงื่อนไข นอกจากนี้ในอีกกรณีที่ระบบต้องการส่งสัญญาณและรับสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง ในส่วนของวงจรวัดระดับแรงดัน (48) และระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย (37) วงจรวัดระดับแรงดัน (48) สามารถรับและแสดงผลผ่านช่องสัญญาณแสดงระดับพลังงานภายนอก (18) และ

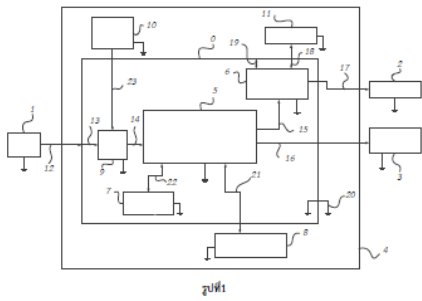
20 ช่องสัญญาณแสดงระดับพลังงานภายใน (49) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณแบบสองทิศทางเช่นเดียวกัน ส่วนในกรณีของระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย (37) การแสดงผลสามารถแจ้งเตือนได้แบบสองทิศทางโดยอาศัยการรับและส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยควบคุมการเปิดและปิดสวิตช์ก่อนวงจรแสดงผลแบบไร้สาย (39) ผ่านกระบวนการในรูปที่ 2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับวงจรวัดระดับแรงดัน (48) เป็นตัวควบคุมสวิตช์ก่อนวงจรแสดงผลแบบไร้สาย (39) ผ่าน

ช่องสัญญาณควบคุมควบคุมสวิตช์ก่อนวงจรแสดงผลแบบไร้สาย (46) ให้กำลังไฟฟ้าจากช่องสัญญาณขาออกของพลังงานให้อุปกรณ์สื่อสาร (45) สามารถผ่านไปสู่อุปกรณ์สื่อสารเข้าอุปกรณ์สื่อสาร (44)

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

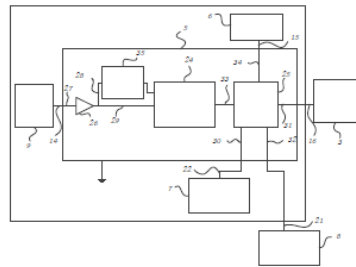
25 เหมือนกับที่บรรยายมาแล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

រូប 1 គោលការណ៍ ៣ដំណាក់

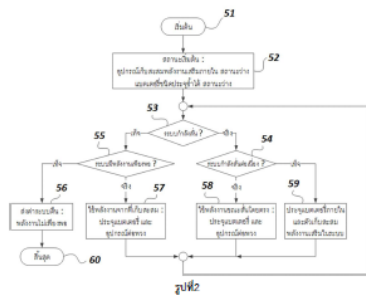


រូប 1

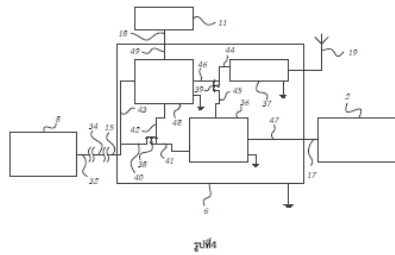
រូប 2 គោលការណ៍ ៣ដំណាក់



រូប 2



រូប 3



រូប 4

ข้ออธิบายนี

1. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 - 3 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งวงจรป้องกันตัวเก็บประจุพลังงาน (1) อาจมีพลังงานกลเป็นตัวกระตุ้นพลังงาน ซึ่งเชื่อมต่อบนอุปกรณ์กับระบบจัดการพลังงาน (4) ส่วนนี้ทำหน้าที่จัดการพลังงานที่ได้จากส่วนใดก็ตามที่ผลิตพลังงาน แล้วส่งต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านการจัดการตามความต้องการใช้งานของอุปกรณ์ปลายทางคือ แหล่งอื่นที่เกี่ยวข้องจากระบบความดันทานภายในตัว และแหล่งอื่นที่เกี่ยวข้องจากระบบความดันทานภายในสูง ซึ่งทั้งสองเชื่อมต่อบนอุปกรณ์กับระบบจัดการพลังงาน(4)
- โดยมีลักษณะพิเศษ คือ
- 10 ระบบจัดการพลังงาน (4) ซึ่งภายในระบบประกอบด้วยชุดของตัวควบคุมรับพลังงานเข้าโดยผ่านวงจรเรียงกระแส (9) ซึ่งเชื่อมต่อกับแหล่งที่กำเนิดพลังงานสำรอง (10) และเชื่อมต่อบนอุปกรณ์กับวงจรจัดการพลังงาน (5) ซึ่งทำหน้าที่รับความดันทานภายในโดยการจัดการของหน่วยกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายซึ่งเข้าให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ปลายทางและที่ติดตั้งอีกแหล่งหนึ่งทางรับพลังงานไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ปลายทางซึ่งแยก ส่วนพลังงานขาออกที่เชื่อมต่อบนอุปกรณ์กับวงจรจัดการพลังงาน (5) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (2) และส่วนกับระบบพลังงานที่เชื่อมต่อกับ อุปกรณ์แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (6) และอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) และชุดตัววงจรจัดการพลังงาน (5) คือบนอุปกรณ์กับวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) และพลังงานขาออกจากระบบแบตเตอรี่ (6) ซึ่งเชื่อมต่อบนอุปกรณ์กับโวลติอิมิกที่ (7)
2. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 ที่ซึ่งระบบจัดการพลังงาน (4) รวมเอาส่วนจัดการพลังงาน ส่วนประมวลผลสัญญาณ และส่วนกับระบบพลังงานสำรองไว้ด้วยกันในระบบเดียว
3. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 หรือ 2 ที่ซึ่งวงจรจัดการพลังงาน (5) รวมภายในทำหน้าที่จัดการพลังงานได้แก่ ควบคุมแรงดัน และปรับค่าความดันทานภายในให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ปลายทาง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณได้แก่ กำหนดเส้นทางทางไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางของควบคุมการทำงานของระบบและรวมในการควบคุมระบบของแหล่งข้อมูลแบบไร้สาย (3/7)

4. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 - 3 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งวงจรป้องกันตัวเก็บประจุพลังงาน (1) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่กระแสกลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่รองรับความถี่ทำงานขนาดต่ำมาก และกำลังไฟฟ้าน้อย
5. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 - 4 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งส่วนใดก็ตามที่ผลิตพลังงาน (1) และแหล่งที่กำเนิดพลังงานสำรอง (10) เป็นระบบเปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้าอาศัยวิธีทางโวลติอิมิกหรือที่ซึ่งเป็นได้ทั้งวิธีอิมิตโวลติอิมิกหรือโวลติอิมิกและรูปแบบวัสดุผสมระหว่างเซรามิกกับพอลิเมอร์ในรูปแบบอื่นที่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางโวลติอิมิกหรือ
6. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 - 5 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งการแปลงสถานะแบตเตอรี่หรือของระบบและสถานะการประจุไฟฟ้าสามารถกระทำผ่านระบบสื่อสารไร้สายโดยอาศัยวงจรภายในส่วนวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) ที่ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้กับระบบได้ และยังสามารถแสดงสถานะดังกล่าวผ่านแอนิเมชันของระบบได้
7. ระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโวลติอิมิกหรือสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตามข้ออธิบายนีที่ 1 - 7 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งแหล่งอื่นที่เกี่ยวข้องจากระบบความดันทานภายในสูงคือ อุปกรณ์อินทรีย์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) และแหล่งอื่นที่เกี่ยวข้องจากระบบความดันทานภายในต่ำคือ อุปกรณ์อินทรีย์แบตเตอรี่และโวลติอิมิกที่ (2)

บทสรุปการประดิษฐ์

การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับระบบจัดการพลังงานจากการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีทางโพสิโวลติกสำหรับอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้และจ่ายพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนให้กำเนิดพลังงาน (1) อาศัยพลังงานกลเป็นตัวกระตุ้นพลังงานซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจัดการพลังงาน (4) ซึ่งภายในระบบประกอบด้วยช่องสัญญาณรับพลังงานขาเข้าโดยผ่านวงจรเรียงกระแส (9) ซึ่งเชื่อมต่อกับแหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง (10) และเชื่อมต่อกับวงจรจัดการพลังงาน (5) ส่วนพลังงานขาออกที่เชื่อมต่อกับวงจรจัดการพลังงาน (5) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (3) และส่วนเก็บสะสมพลังงานทั้งสองได้แก่ อุปกรณ์แบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ (8) และอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานเสริมภายใน (7) และสุดท้ายวงจรจัดการพลังงาน (5) เชื่อมต่อกับวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) และพลังงานขาออกจากวงจรประจุแบตเตอรี่ (6) ซึ่งเชื่อมต่อกับ

10 โหลดพิเศษเคลื่อนที่ (2) โดยออกแบบให้มีการรวมกันระหว่างวงจรจัดการพลังงานที่รวมความสามารถด้านการจัดการพลังงานและกำหนดทิศทางของกระแสพลังงานระหว่างแหล่งให้กำเนิดพลังงานหลัก แหล่งให้กำเนิดพลังงานสำรอง ไปสู่อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานหลัก และอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานสำรอง โดยอาศัยการวิเคราะห์ทางวงจรไฟฟ้าให้เลือกเส้นทางไหลอย่างอัตโนมัติและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์แต่ละแบบอย่างอัตโนมัติทั้งที่มีความต้านทานภายในตัวอุปกรณ์ปลายทางสูงและต่ำ

15 แตกต่างกัน