เทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์ สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Thermoelectric Generator for Wireless Transmitters

นฤชิต ธาระธนผล ธีรวัฒน์ เทพมณี ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: j_di21@hotmail.com, ktteeraw@kmitl.ac.th, kjprasit@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์บนพื้นฐานของปรากฏการณ์ซีเบคที่ใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตให้เป็นประโยชน์สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายสามารถรับพลังงานได้จากแบตเตอรี่ภายในร่วมกับเจนเนอเรเตอร์ที่นำเสนอเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ นอกจากนั้นเจนเนอเรเตอร์ที่นำเสนอยังสามารถใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่โดยไม่ต้องปิดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ผลการทดลองที่แสดงถึงความสามารถในการจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ส่งสัญญาณความดันแบบไร้สายของบริษัท Rosemount ซึ่งเป็นกรณีศึกษาได้รวมในบทความนี้ด้วย

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์, บูสคอนเวอร์เตอร์, อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Abstract

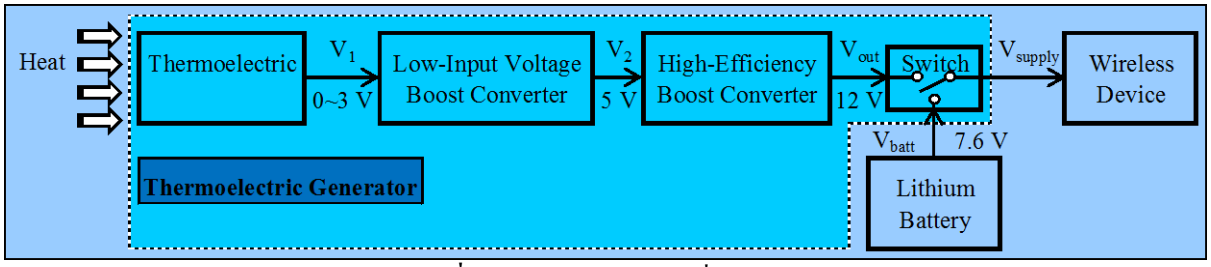
This paper presents Seebeck effect-based thermoelectric generator utilizing waste heat in manufacturing processes for wireless transmitters. The wireless transmitter can be supplied by its battery in combination with the proposed generator to conserve battery life. Moreover, the proposed generator can be operated as the backup power supply for new battery replacement without tuning the transmitter off. Experimental results showing the capacity to power a Rosemount wireless pressure transmitter as an illustrative case study are also included.

Keywords : Thermoelectric Generator (TEG), Boost Converter, Wireless Transmitter

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีไร้สาย (Wireless Technology) กำลังเข้ามามีบทบาทและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณชนิดไร้สายนั้นมีข้อดีหลายประการ โดยสามารถลดข้อจำกัดบางอย่างที่ไม่สามารถทำได้ในเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบเดิม [1] เช่น การวัดค่าบนระบบเครื่องจักรที่มีการหมุนรอบตัวเอง (Rotating Machine) การวัดค่าในตำแหน่งที่ยากต่อการเข้าถึง ง่ายต่อการย้ายตำแหน่งติดตั้งและลดค่าใช้จ่ายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1. โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ

สายไฟได้ เนื่องจากอุปกรณ์ประเภทไร้สายนั้นไม่มีสายไฟเข้าหรือออกจากตัวอุปกรณ์ ฉะนั้นแหล่งพลังงานที่ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรนั้นจะมาจากแบตเตอรี่ภายในเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะต้องคอยเปลี่ยนเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ติดอยู่กลางแจ้งสามารถติดเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell) เพิ่มเข้าไปเพื่อใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์สำหรับการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ แต่สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ติดตั้งอยู่ในอาคารหรือบริเวณที่ไม่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้โดยตรง อุปกรณ์นั้นจำเป็นต้องอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ภายในตัวเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายยังมีข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ การสุ่มวัดค่านั้นควรสุ่มวัดให้ได้เร็วมากที่สุดเพื่อที่จะได้ค่าข้อมูลที่ใกล้เคียงกับค่าเวลาจริงมากที่สุด แต่สำหรับอุปกรณ์แบบไร้สายนั้นยิ่งทำการสุ่มวัดค่าเร็วมากเท่าไหร่ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าแรงดันเอาต์พุตของแบตเตอรี่จะลดลงเร็วมากเท่านั้น [2] กล่าวคืออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับอัตราการสุ่มวัดค่าของอุปกรณ์ (T_s) นั่นเอง ดังนั้นเรื่องพลังงานจึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ไร้สายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

บทความนี้เป็นการนำเสนอเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator) สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานร่วมนอกเหนือไปจากการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ภายในตัวอุปกรณ์เพียงอย่างเดียว โดยเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์จะใช้ความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต เช่น ความร้อนจากท่อไอน้ำ จากระบบทำความร้อน/เย็นหรือแผงระบายความร้อนของเครื่องยนต์เปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย วิธีการนี้สามารถกำหนดให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายมีอัตราการสุ่มวัดข้อมูลที่สูงขึ้น ลดการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ นอกจากนั้นยังสามารถใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองสำหรับการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่โดยไม่ต้องปิดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟของเจนเนอเรเตอร์ที่นำเสนอได้เลือกใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณความดันแบบไร้สายของบริษัท Rosemount เป็นกรณีศึกษา

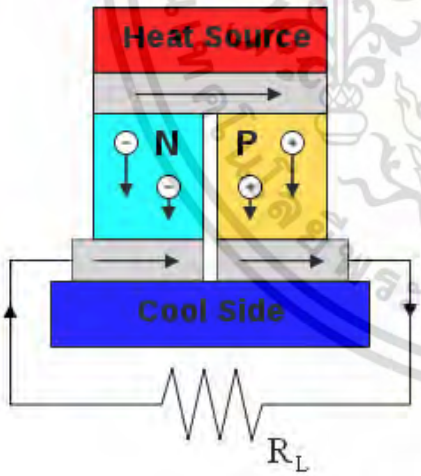
2. รายละเอียดของระบบที่นำเสนอ

ในรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบที่นำเสนอซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก (Thermoelectric) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบแรงดันอินพุตต่ำ (Low Input Voltage Boost Converter) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบประสิทธิภาพสูง (High-Efficiency Boost Converter) และวงจรสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ โดยเทอร์โมอิเล็กตริกจะทำหน้าที่แปลงความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งได้แรงดัน V_1 ในช่วง 0-3 V จากนั้นจะทำการเพิ่มแรงดัน V_1 โดยวงจรบูสคอนเวอเตอร์แบบแรงดันอินพุตต่ำจนได้แรงดัน V_2 ที่ 5 V ซึ่งค่าแรงดันนี้ยังต่ำเกินไปที่จะนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มแรงดันอีกครั้งหนึ่งโดยวงจรบูสคอนเวอเตอร์แบบประสิทธิภาพสูงทำให้ได้แรงดัน V_{out} ที่ 12 V ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานและเป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีวงจรสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติเพื่อให้เทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์สามารถเชื่อมต่อและใช้เป็นแหล่งพลังงานร่วมกับแบตเตอรี่เดิมได้ ในบทความนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

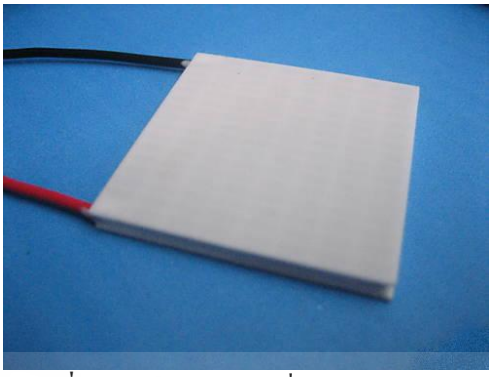
ออกแบบให้แรงดันเอาต์พุตของเจนเนอเรเตอร์ที่นำเสนอมีค่ามากกว่าแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อใช้เจนเนอเรเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก ในกรณีที่ค่าแรงดันของเจนเนอเรเตอร์มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันของแบตเตอรี่อาจเนื่องมาจากแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิต่ำเกินไปหรือวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์มีปัญหา วงจรก็จะสวิตช์ให้แบตเตอรี่ภายในของตัวอุปกรณ์เป็นแหล่งจ่ายไฟแทน

2.1 เทอร์โมอิเล็กตริก ในปี ค.ศ. 1834 ฌอง ซี. เอ. เพลเทียร์ (Jean C. A. Peltier) [3] นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสพบว่าเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ผิวของสารทั้งสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน (Hot Surface) และผิวเย็น (Cold Surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าปรากฏการณ์นี้เรียกว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ในทางกลับกันถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า ซีเบ็คโวลต์เตจ (Seebeck Voltage) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งในบทความนี้จะใช้เพียงหลักการซีเบ็คโวลต์เตจเท่านั้น



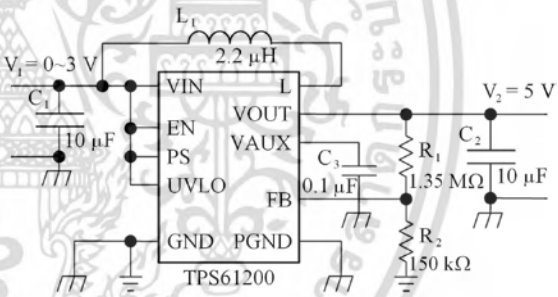
รูปที่ 2. ปรากฏการณ์ซีเบ็คโวลต์เตจ

เทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานนั้นควรจะจ่ายแรงดันและกระแสออกมาได้สูง ซึ่งการทดลองนี้ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กตริก Model CP1-12726 [4] โดยมีย่านอุณหภูมิใช้งานอยู่ที่ -60°C ถึง +175°C



รูปที่ 3. เทอร์โมอิเล็กตริกที่ใช้ในการทดลอง

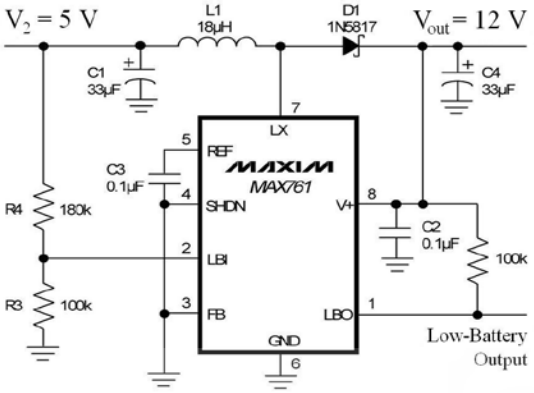
2.2 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบแรงดันอินพุตต่ำ ได้ใช้ไอซีเบอร์ TPS61200 [5] ซึ่งสามารถรับแรงดันอินพุตได้ตั้งแต่ 0.3 V ถึง 5.5 V ส่วนแรงดันที่จ่ายออกมาทางขา V_2 นั้นสามารถเลือกได้จากค่า R_1 และ R_2 ที่ต่อกันเป็นวงจรแบ่งแรงดัน การออกแบบในระบบที่นำเสนอนี้ได้กำหนดค่า R_1 และ R_2 เท่ากับ 1.35 MΩ และ 150 kΩ ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้ค่าแรงดัน V_2 = 5 V



รูปที่ 4. วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบแรงดันอินพุตต่ำ

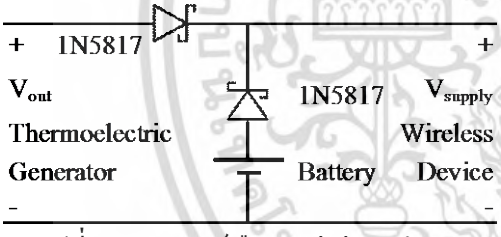
2.3 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบประสิทธิภาพสูง การออกแบบได้ใช้ไอซีเบอร์ MAX761CPA [6] เป็นตัวแปลงแรงดันในส่วนที่สองนี้ ไอซีสามารถรับแรงดันอินพุตได้ตั้งแต่ 2 V ถึง 16.5 V และให้ค่าแรงดันเอาต์พุต V_{out} = 12 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ ส่งสัญญาณแบบไร้สาย นอกจากนี้ยังมีขา Low-Battery Output อีกด้วยซึ่งผู้ใช้งานสามารถนำจุดต่อนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ คือ อาจจะนำขานี้ไปต่อกับอุปกรณ์เพื่อบอกให้รู้ว่าขณะนี้อุปกรณ์ได้ใช้พลังงานจากเจนเนอเรเตอร์หรือจากแบตเตอรี่ภายใน หรืออาจจะให้อุปกรณ์มีการสุ่มค่าวัดที่ต่างกันจากแหล่งพลังงานที่ต่างกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบประสิทธิภาพสูง

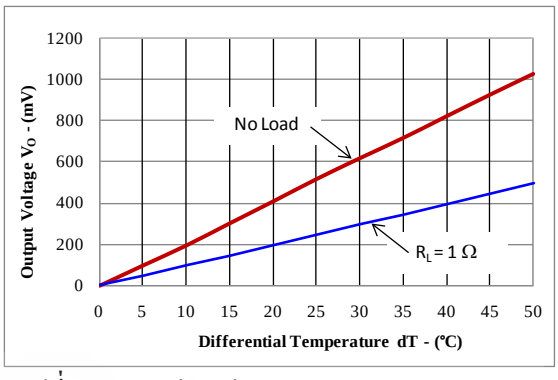
2.4 วงจรสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ ได้เลือกใช้ชอตต์กีไดโอด (Schottky Diode) ในการออกแบบเนื่องจากคุณสมบัติในการสวิตช์ที่รวดเร็วและมีอัตราการสูญเสียพลังงานต่ำ โดยใช้ไดโอดเบอร์ 1N5817 [7] จำนวน 2 ตัวต่อกันแบบแคโทดร่วม (Common Cathode) ดังรูปที่ 6 ทำให้เอาต์พุตสามารถรับแรงดันได้จากทั้งสองแหล่งจ่ายและจะเลือกต่อใช้งานกับแหล่งจ่ายที่มีค่าแรงดันมากที่สุด



รูปที่ 6. วงจรสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ

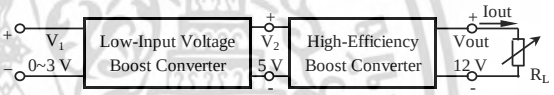
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กตริก โดยทำการป้อนพลังงานความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กตริกแล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมา ในการทดลองได้กำหนดให้อุณหภูมิของแผ่นทั้งสองด้านต่างกันไม่เกิน 50°C เพื่อความปลอดภัยและมิให้เทอร์โมอิเล็กตริกเกิดความเสียหาย ในรูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลต่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก V_1 ที่ได้จากการทดลองโดยให้อุณหภูมิด้านเย็นคงที่อยู่ที่ 30°C และด้านร้อนอยู่ที่ 30~80°C ซึ่งจะทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 0~50°C ในขณะที่ไม่มีโหลด (No Load) และขณะโหลดสูงสุด (R_L = 1Ω)

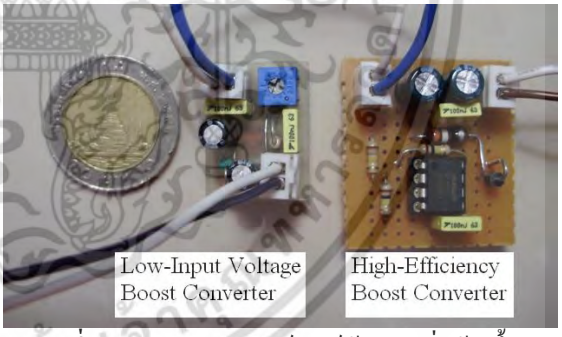


รูปที่ 7. กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลต่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก

3.2 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ จากการทดสอบโดยนำวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองวงจรมาต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 8 และแยกการทดลองออกเป็นสองส่วน คือการทดสอบผลค่ากำลังทางเอาต์พุตและการทดสอบประสิทธิภาพรวมของวงจร



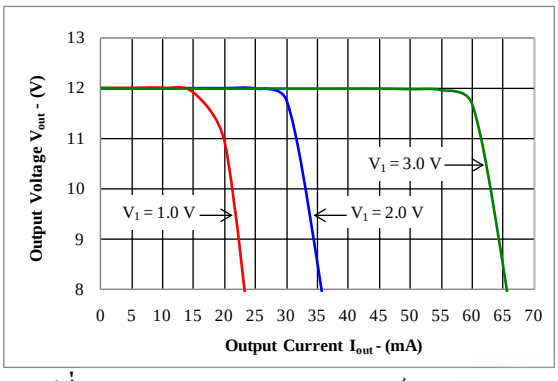
รูปที่ 8. การต่ออนุกรมวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 9. วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบที่สร้างขึ้น

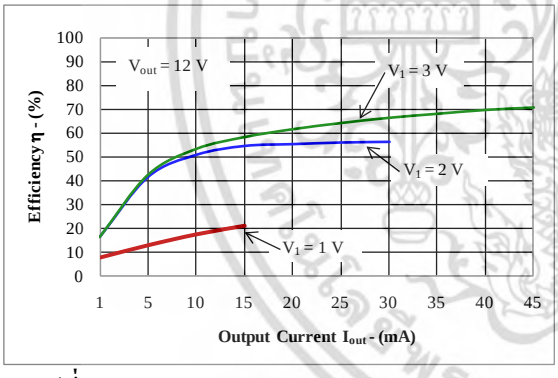
3.2.1 การทดสอบค่ากำลังทางเอาต์พุต โดยการป้อนค่าแรงดัน V_1 ที่แตกต่างกันจำนวน 3 ค่า คือ V_1 = 1V, 2V, และ 3V จากนั้นทำการปรับเพิ่มกำลังโหลดทางด้านเอาต์พุตให้มากขึ้นจนทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงเพื่อตรวจสอบผลการรักษาค่าระดับแรงดันให้คงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสเอาต์พุต I_{out} และค่าแรงดันเอาต์พุต V_{out} แสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเห็นได้ว่าค่ากระแส I_{out} จะแปรผันตามค่าแรงดันอินพุตที่ได้รับ นั่นคือค่ากระแสเอาต์พุต I_{out} จะมีค่าสูงขึ้นตามแรงดันอินพุต V_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



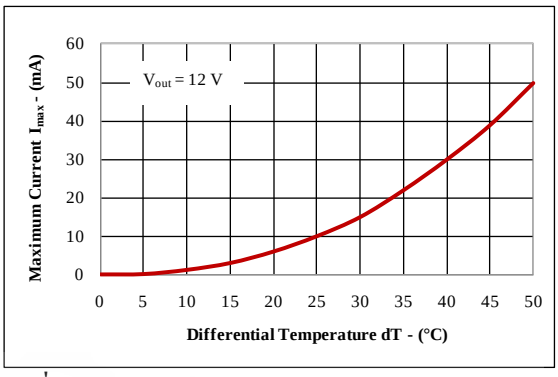
รูปที่ 10. ผลการทดสอบกำลังทางเอาต์พุตของวงจร

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพรวมของวงจร โดยการเปรียบเทียบกำลังงานอินพุตเทียบกับกำลังงานเอาต์พุตดังสมการ Efficiency (η) = P_O / P_i โดยให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ V_{out} = 12 V ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลองอยู่ในรูปของค่ากระแสเอาต์พุต I_{out} เทียบกับประสิทธิภาพ η ในเทอมของเปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 11 ซึ่งเห็นได้ว่าถ้าแรงดันทางด้านอินพุตมีค่าต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพรวมของวงจรนั้นมีค่าต่ำตามไปด้วย



รูปที่ 11. ผลการทดสอบทางประสิทธิภาพรวมของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์

3.3 ผลการทดลองการต่อเทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ในการทดลองส่วนนี้ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กตริกจำนวน 4 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีขนาด 50x50 mm. ต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าและทำการป้อนความร้อนให้เกิดผลต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 0~50°C เพื่อวัดดูผลของการจ่ายกระแสสูงสุดของวงจร ผลการทดสอบนั้นอยู่ในรูปแบบของการเปรียบเทียบระหว่างผลต่างอุณหภูมิ dT และค่ากระแสเอาต์พุตสูงสุด I_{max} ดังกราฟในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าค่ากระแส I_{max} เปลี่ยนแปลงตามผลต่าง dT และวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานและจ่ายกระแสได้ตั้งแต่ผลต่างอุณหภูมิ 8°C ซึ่งเป็นจุดที่เทอร์โมอิเล็กตริกมีค่าแรงดันเพียงพอที่จะจ่ายให้วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์เริ่มต้นทำงานได้นั่นเอง



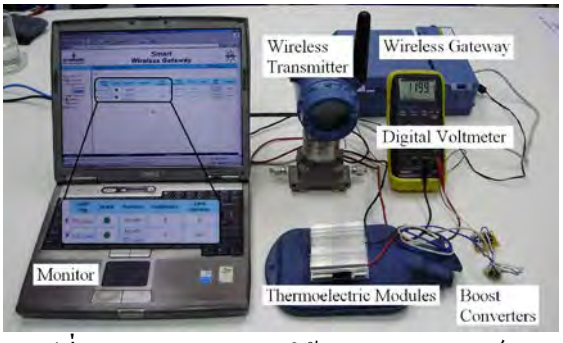
รูปที่ 12. ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์

สำหรับการใช้งานเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้น ยิ่งเทอร์โมอิเล็กตริกมีค่าผลต่างอุณหภูมิสูงก็จะสามารถกำหนดอัตราการสุ่มวัดค่าของอุปกรณ์ให้สูงขึ้นตามไปด้วยได้ กล่าวคือความเร็วสูงสุดของอัตราการสุ่มวัดค่าของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับค่าผลต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กตริกขณะใช้งานหรือค่ากระแสเอาต์พุตสูงสุด I_{max} นั่นเอง

4. การต่อใช้งานจริงกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย

เพื่อทดสอบการต่อใช้งานจริงในบทความนี้ได้นำเทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์ต่อร่วมกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณความดันแบบไร้สาย (Wireless Pressure Transmitter) ของบริษัท Rosemount [2] เป็นกรณีศึกษาและใช้ถุงบรรจุน้ำร้อนแทนพลังงานความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตดังรูปที่ 13 พร้อมทั้งกำหนดให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณสุ่มวัดค่าทุกๆ 8 s ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้สำหรับวัดค่าเพื่อแสดงผล โดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้กระแสประมาณ 2 mA จากส่วนแสดงผล (Monitor) ดังรูปที่ 13 พบว่าระบบที่ออกแบบสามารถจ่ายไฟได้ดีและเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13. ผลการทดลองต่อใช้งานจริงกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย

สังเกตได้จากสภาวะที่แสดงดังหน้าจอแสดงผล โดยอุปกรณ์จะเริ่มทำงานได้ตั้งแต่ผลต่างอุณหภูมิ 15°C เป็นต้นไป

ในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ภายในอย่างเดียว จากข้อมูลใน [2] พบว่าอายุการใช้งานแบตเตอรี่สูงสุด 10 ปี ถ้ากำหนด T_s = 32 s, 8 s, และ 200 ms จะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุกๆ 8 ปี, 3 ปี, และ 6 เดือน ตามลำดับ โดยแบตเตอรี่ราคาก้อนละ 8,500 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายของระบบที่นำเสนอประมาณ 17,000 บาท การใช้พลังงานจากเจน-เนอเรเตอร์ร่วมกับแบตเตอรี่ภายในอุปกรณ์สามารถรองรับกับอัตราสุ่มวัดค่าได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ย่าน ms – min ถ้าพิจารณาให้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งมีค่าเพียงพอที่จะทำให้เจนเนอเรเตอร์ที่นำเสนอเป็นแหล่งจ่ายไฟหลักและแบตเตอรี่ภายในอุปกรณ์เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง ซึ่งทำให้สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้ตลอดอายุการใช้งานสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในช่วง 10 ปี ดังตารางที่ 1 พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากในกรณีที่กำหนดอัตราสุ่มวัดในย่าน ms ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการใช้งานอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการวัดและควบคุมกระบวนการผลิตโดยทั่วไป

ตารางที่ 1. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในระยะเวลา 10 ปี

อัตราการสุ่มวัดค่า / แหล่งจ่ายไฟ	200 ms	8 s	32 s	1 min
แบตเตอรี่ภายในอย่างเดียว	170,000	34,000	17,000	8,500
ระบบที่นำเสนอ	25,000	25,000	25,000	25,000

5. สรุป

เทอร์โมอิเล็กตริกเจนเนอเรเตอร์บนพื้นฐานของปรากฏการณ์ซีเบคที่ได้นำเสนอในบทความวิจัยนี้มีจุดเด่นในด้านการใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งให้เป็นประโยชน์สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และสามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองในกรณีที่ทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่โดยไม่จำเป็นต้องปิดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ผลการทดลองจากกรณีศึกษาสามารถยืนยันได้ถึงความมีประสิทธิภาพของเจนเนอเรเตอร์ที่ได้นำเสนอ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์จากบริษัท Emerson (Thailand) Limited

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Smart Wireless Field Network Solutions, Emerson Process Management.

[2] Wireless Pressure Transmitter Datasheet, 3051S, Emerson Process Management.

[3] Rowe D. M., 1995, CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC Press, USA, pp.489-501.

[4] Thermoelectric Datasheet Model CP1-12726, Thermal Enterprises.

[5] IC P/N: TPS61200, Texas Instruments.

[6] IC P/N: MAX761CPA, Maxim Integrated Products.

[7] Diode P/N: 1N5817, Taiwan Semiconductor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้