



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียของเซนเซอร์โหนด (Unode)

Analysis of power loss in sensor node (Unode)

ธิตินันท์ ตะพานน้อย^{*1)}, พรชัย พุกภักทธานนท์¹⁾, วรณรัช สันติอมรทัต²⁾ และ คณดิด เจษฎ์พัฒนานนท์¹⁾

Titinan Tapaonoi^{*1)}, Pornchai Phukpattaranont¹⁾, Wannarat Suntiamorntut²⁾, and Kanadit Chetpattananondh¹⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

Received December 2011

Accepted June 2012

บทคัดย่อ

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีความสำคัญ และมีแนวโน้มที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานมากขึ้นในอนาคต ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ การเพิ่มอายุการใช้งานแบตเตอรี่ของเซนเซอร์โหนดให้นานที่สุด การนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน นับว่าเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของเซนเซอร์โหนด แต่จากการศึกษาโดยใช้เซนเซอร์โหนด Unode กลับพบว่า การนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าส่วนเกิน ซึ่งกลายเป็นพลังงานสูญเสีย ที่ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง 13-60% และยังเป็นสาเหตุทำให้การใช้พลังงาน ระหว่างโหมดการทำงานปกติกับโหมดการส่งข้อมูล มีความแตกต่างกันเพิ่มขึ้น 11-26%

คำสำคัญ : กำลังไฟฟ้าสูญเสีย การอนุรักษ์พลังงาน เซนเซอร์โหนด เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

Abstract

Wireless sensor networks are important, and have potential in many innovations in the future. One of the most important factors is to increase the lifetime of the battery power as long as possible. It is an easy method to increase the supply voltage to meet the requirements of sensor nodes (Unode) by connecting them in series. However, our study shows that the excessive supply voltage can produce power loss in the device more than in necessary. In the experimental results, the lifetime of battery has been deducted by 13-60%. Moreover, it also causes the increase in the difference of power consumption between normal operating mode and transmitting mode at 11-26%.

Keywords : Power loss, Energy conservation, Sensor node, Wireless sensor networks

^{*}Corresponding author.

Email address: T_097277020@hotmail.com

1. บทนำ

ในอนาคตมนุษย์และเครื่องจักร (Human and machine) จะมีความต้องการรับรู้สถานะแวดล้อมรอบตัวในรูปแบบเวลาจริง (Real time) เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถปรับตัวได้อย่างเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ลดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ตัวอย่างเช่นระบบป้องกันก่อนการเกิดอุบัติเหตุ ที่สามารถพยากรณ์เหตุการณ์ร้ายแรงได้จากการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมรอบตัว แล้ววางแผนป้องกันอุบัติเหตุได้อย่างแม่นยำ หรือระบบป้องกันศัตรูพืชในการเกษตร ที่สามารถตรวจจับการเกิดโรคและแมลงได้ตั้งแต่เบื้องต้น แล้วปล่อยสารเคมียับยั้งก่อนที่จะเกิดการแพร่ระบาดของออกไปบริเวณอื่น ซึ่งช่วยลดการใช้สารเคมีได้เป็นอย่างมาก

การที่ระบบดังกล่าวจะรับรู้สภาวะแวดล้อมได้อย่างทั่วถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลทางกายภาพที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์ซึ่งถูกติดตั้งไว้ครอบคลุมทั่วพื้นที่เป้าหมาย ในกรณีเป็นพื้นที่ภายในอาคาร การใช้เซนเซอร์เชื่อมต่อสื่อสารผ่านสายยังคงมีความน่าเชื่อถือและตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี แต่หากเป็นการใช้งานภายนอกอาคาร ซึ่งมีบริเวณกว้าง ไม่มีระบบไฟฟ้าและแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น การใช้งานในป่ารกทึบ หรือการใช้งานใต้ทะเลที่ต้องการส่งข้อมูลและจ่ายพลังงานให้กับเซนเซอร์ผ่านทางสายเป็นสิ่งที่ไม่ได้ยากลำบากทั้งในด้านเทคนิคและความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้น จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้งานง่าย ขนาดเล็ก และมีราคาถูก สามารถใช้งานได้ทุกสถานที่ โดยไม่ต้องบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนพลังงานใหม่ตลอดอายุการใช้งาน [1]

ในการใช้งานเซนเซอร์ไร้สายจะถูกติดตั้งในพื้นที่เป็นจำนวนมาก จนสามารถสร้างเครือข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ขึ้นมาเป็นของตนเองได้ เรียกเครือข่ายสื่อสารนี้ว่า “เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor networks)” และเรียกอุปกรณ์ไร้สายที่ทำงานในเครือข่ายนี้ว่า “เซนเซอร์โหนด (Sensor node)”

จากเป้าหมายในการสร้างเซนเซอร์ไร้สายที่ต้องการให้เป็นเซนเซอร์ที่ใช้งานง่ายขนาดเล็กและมีราคาถูกสามารถใช้งานได้ทุกสถานที่โดยไม่ต้องบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนพลังงานใหม่ตลอดอายุการใช้งาน ทำให้ทางเลือกของแหล่ง

พลังงานที่เหมาะสมในขณะนี้คือ การใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็ก และเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานให้กับเซนเซอร์ได้ยาวนาน การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย จึงเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดให้เหลือน้อยที่สุด จากการสำรวจผลงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแบ่งวิธีการอนุรักษ์พลังงาน ได้ 3 วิธี [2] ดังนี้

1) วิธีการกำหนดวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycling) เพื่อให้เซนเซอร์โหนดเข้าสู่โหมดหลับ (Sleep mode) เมื่อไม่ได้ใช้งาน [3-4]

2) วิธีการจัดการข้อมูลและเส้นทางในเครือข่าย (Data-driven) เพื่อให้ใช้พลังงานในการดำเนินการน้อยที่สุด [5-7]

3) วิธีการจัดวางตำแหน่งหรือเคลื่อนที่เซนเซอร์โหนดอย่างเหมาะสม (Mobility-base) เพื่อให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่ โดยใช้จำนวนของเซนเซอร์โหนดและพลังงานน้อยที่สุด [8-9]

หากกล่าวโดยสรุปแล้ว วิธีการต่างๆ ที่ได้มีการศึกษามา จะให้ความสำคัญไปที่การหาจุด เหมาะสมในด้านการบริหารจัดการตามสถานการณ์ เพื่อลดเวลาทำงานของเซนเซอร์โหนด (Operating time) ให้เหลือน้อยที่สุด แต่ยังขาดผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับพลังงานสูญเสีย จากการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพของเซนเซอร์โหนดเอง

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเราใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็ก (ขนาด AA หรือ AAA) จ่ายพลังงานให้กับเซนเซอร์โหนด คือ แบตเตอรี่ที่มีจำหน่ายโดยส่วนใหญ่จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าเพียง 1.5 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่าความต้องการของเซนเซอร์โหนดที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าประมาณ 2 ถึง 5 โวลต์ ในการใช้งานจึงนิยมนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็น 3 โวลต์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่เราสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้โดยไม่ต้องอาศัยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าใดๆ เพิ่มเติม

แต่เมื่อทำการศึกษาข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นส่วนประกอบของเซนเซอร์โหนดกลับพบว่า อุปกรณ์เหล่านี้สามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 3 โวลต์ โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นการทำงานแบบดิจิทัล นอกจากนี้ วงจรบางส่วน ก็ไม่ได้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่มาจากแบตเตอรี่โดยตรง

แต่จะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันมาแล้ว (Voltage Regulator) เช่น ส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้อำนาจส่งคลื่นวิทยุของเซนเซอร์โหนด แกว่งไปมาตามแรงดันของแบตเตอรี่ แต่ผลกระทบจากการใช้วงจรรักษาระดับแรงดันคือ ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งแปรผันตรงกับความแตกต่างระหว่างแรงดันของแบตเตอรี่กับแรงดันเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดัน ยิ่งความแตกต่างระหว่างแรงดันทั้งสองมีค่ามาก พลังงานสูญเสียเป็นความร้อน ก็ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนแสดงสถานะการทำงาน เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานตรวจสอบสถานะการทำงานของเซนเซอร์โหนดได้อย่างสะดวก เช่น สถานะการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟ และสถานะการรับส่งข้อมูล ซึ่งนิยมใช้การแสดงผลด้วยหลอดไฟชนิด LED ที่รับแรงดันไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่โดยตรง ระดับความสว่างจึงแปรเปลี่ยนตามระดับแรงดันของแบตเตอรี่ด้วย หากแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าสูงความสว่างของหลอด LED ก็จะมาก จนบางครั้งอาจมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เกิดเป็นพลังงานสูญเสียในรูปแบบของแสงได้ด้วยเช่นกัน

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีสมมุติฐานที่เป็นไปได้ว่า การต่ออนุกรมแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โหนด อาจทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการใช้งานจริง ทำให้แบตเตอรี่ต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเป็นความร้อนภายในวงจรรักษาระดับแรงดัน และแสงสว่างของหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานที่สว่างมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง

บทความนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการศึกษาลงพลังงานสูญเสียของเซนเซอร์โหนด ที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินจากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่ ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นปริมาณของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานและอายุการใช้งานระหว่างการใช้แบตเตอรี่ชนิด Ni-MH กับแบตเตอรี่ชนิด Alkaline ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน ผลการศึกษาจะช่วยให้ผู้นำเซนเซอร์โหนดไปใช้งาน หรือผู้ที่กำลังจะออกแบบเซนเซอร์โหนดได้คำนึงถึงผลกระทบจากการป้อนแรงดันไฟฟ้าสูงเกินความจำเป็นทำให้แบตเตอรี่ต้องสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ซึ่งจะเป็นแนวทางนำไปสู่การเลือกใช้อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไป

2. วิธีการ

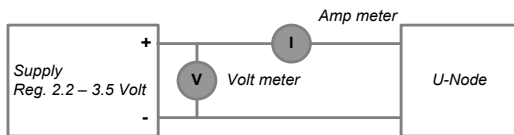
ในการศึกษาจะใช้เซนเซอร์โหนด Unode ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นเซนเซอร์โหนดสำหรับการทดลอง ซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีพื้นฐานการพัฒนาจาก Tmote sky มีอุปกรณ์หลักประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430f1611 และส่วนรับส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยใช้ไอซี CC2420 มีไฟแสดงสถานะการทำงาน 3 ดวง รองรับช่วงแรงดันใช้งาน 2.1-3.6 โวลต์ และมีกำลังส่งคลื่นวิทยุสูงสุดที่ 1 มิลลิวัตต์ (mW)



รูปที่ 1 เซนเซอร์โหนด Unode ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงาน เป็นการพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานของ Hardware เป็นหลัก จึงไม่มีการใช้โปรโตคอลใดๆ เพื่อลดภาระของการประมวลผลให้น้อยที่สุด กำหนดให้เป็นการสื่อสารแบบ Single-hop คือ Unode เป็นตัวส่ง (source node) และใช้ Tmote เป็นตัวรับซึ่งต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Destination node) โหนดทั้งสองมีระยะห่างกันประมาณ 1 ฟุต Unode ใช้กำลังส่งคลื่นวิทยุอยู่ที่ 1mW ทำการทดลองโดยวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Unode ซ้ำ 10 ครั้ง ใน 2 โหมดการทำงาน คือ โหมดการทำงานปกติ (Operating mode) และโหมดการส่งข้อมูล (TX mode) โดยโหมดการทำงานปกติจะหมายถึงเซนเซอร์โหนดอยู่ในช่วงรอและพร้อมที่จะรับ-ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ ในโหมดนี้ LED แสดงสถานะการต่อ แหล่งจ่ายไฟจะติดสว่างเพียง 1 ดวง ส่วนโหมดการส่ง ข้อมูลจะหมายถึงเซนเซอร์โหนดกำลังส่งข้อมูลออกอากาศผ่านทางคลื่นวิทยุ ในโหมดนี้ LED แสดง สถานะการส่งข้อมูลจะติดสว่างเพิ่มอีก 1 ดวง รวมเป็น 2 ดวง จากนั้นนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัด 10 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละโหมด

ในการทดลอง Tmote ซึ่งเป็นตัวรับจะใช้ไฟจากพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วน Unode จะรับไฟจากแหล่งจ่ายตั้งแต่ 2.2 ถึง 3.5 โวลต์ (จากการทดลอง ถ้าแรงดันน้อยกว่านี้ Unode ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ และหากมากกว่านี้ Unode จะเสียหาย) โดยปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 0.1 โวลต์ แล้วบันทึกแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วย Mutimeter ยี่ห้อ Fluke รุ่น 117 วิธีการวัดมีไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2

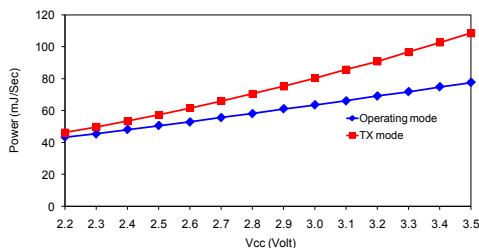


รูปที่ 2 วิธีการวัดเพื่อหากำลังไฟฟ้าของเซนเซอร์ชนิดที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 2.2 ถึง 3.5 โวลต์

เนื่องจากปัจจุบัน แบตเตอรี่ขนาดเล็กที่มีจำหน่ายทั่วไป (ขนาด AA หรือ AAA) มีแรงดันไฟฟ้าให้เลือกใช้งานเพียง 2 แบบ คือ แบบแรงดันไฟฟ้า 1.2 โวลต์จากเป็นแบตเตอรี่ชนิด Ni-MH และแบบแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์จากเป็นแบตเตอรี่ชนิด Alkaline ดังนั้นในการหาปริมาณของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน และการเปรียบเทียบอายุการใช้งาน จะพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 2 ชนิดนี้

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

ผลที่ได้จากการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2 จะถูกคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น มิลลิจูลต่อวินาที (mJ/Sec) ซึ่งมี ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของ Unode กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Unode ดังแสดงในรูปที่ 3



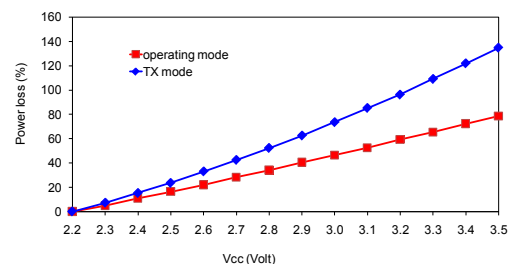
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของ Unode กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Unode

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า กำลังไฟฟ้าของ Unode เพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย โดยมีกำลังไฟฟ้าต่ำสุด 43.4 mJ/Sec ที่แรงดันไฟฟ้า 2.2 โวลต์ในโหมดการทำงานปกติ และมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 108.6 mJ/Sec ที่แรงดันไฟฟ้า 3.5 โวลต์ในโหมดการส่งข้อมูล นอกจากนี้แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของทั้งสองโหมดมีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยที่แรงดัน 2.4 โวลต์ ในโหมดการส่งข้อมูลจะใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากโหมดการทำงานปกติ 5.3 mJ/Sec หรือคิดเป็น 11% ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ โหมดการส่งข้อมูลจะใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากโหมดการทำงานปกติ 16.7 mJ/Sec หรือคิดเป็น 26%

จากการทดลอง แรงดันไฟฟ้า 2.2 โวลต์เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ Unode ยังคงทำงานได้ตามปกติ (ทั้งส่วนดิจิทัลอินเทอร์เฟซและส่วนภาครับส่งคลื่นวิทยุ) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากภาครับ-ส่งคลื่นวิทยุภายใน CC2420 ต้องการแรงดันไฟฟ้าใช้งานจริงเพียง 1.8 โวลต์ ซึ่งได้มาจากการลดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยวงจร Low Drop Out Regulator (LDO) ที่อยู่ใน CC2420 เอง และไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F1611 ก็ต้องการแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเพียง 1.8 โวลต์เช่นกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์ชนิดมากกว่า 2.2 โวลต์ เป็นผลมาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$P_{loss} = \left(\frac{P - P_{2.2V}}{P_{2.2V}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

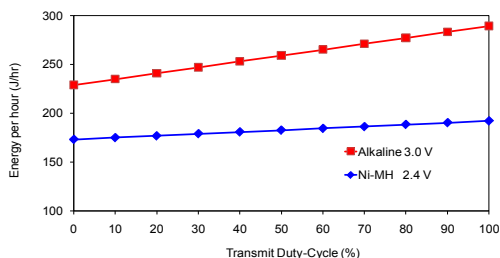
มีความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังไฟฟ้าสูญเสียกับแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินที่ได้จากการคำนวณดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ร้อยละของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการป้อนแรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่าความต้องการต่ำสุดของ Unode ที่ 2.2 โวลต์

จากรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของกำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 2.4 โวลต์ ที่ได้จากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่ Ni-MH กับการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ ที่ได้จากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่ Alkaline จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยทั้งสองโหมดของ Ni-MH มีค่าเท่ากับ 13% ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยทั้งสองโหมดของ Alkaline สูงถึง 60% การใช้แบตเตอรี่ Alkaline จึงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียใน Unode มากกว่าการใช้แบตเตอรี่ Ni-MH เพราะมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า

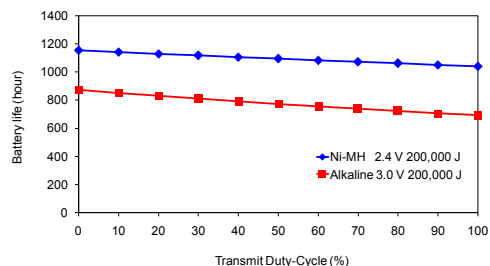
เนื่องจาก Unode มีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดการทำงานปกติ และโหมดการส่งข้อมูล สัดส่วนการทำงานระหว่าง 2 โหมดเรียกว่า “รอบการส่งข้อมูล (Transmit Duty-Cycle)” ซึ่งจะถูกกำหนดโดยเหตุการณ์ หรือการตั้งเวลา เมื่อคำนวณเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Unode ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ระหว่างการใช้แบตเตอรี่ Ni-MH กับ Alkaline ซึ่งมีความสัมพันธ์กับรอบการส่งข้อมูลตั้งแต่ 0-100% มีผลการคำนวณดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราใช้พลังงานใน 1 ชั่วโมงระหว่างการใช้แบตเตอรี่ Ni-MH กับ Alkaline เมื่อ Unode มีรอบการส่งข้อมูลตั้งแต่ 0-100%

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อรอบการส่งข้อมูลมีค่าตั้งแต่ 0-100% ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงการใช้แบตเตอรี่ Alkaline กับ Unode จะใช้พลังงานมากกว่าการใช้แบตเตอรี่ Ni-MH เฉลี่ย 76 จูล หรือคิดเป็น 42% นอกจากนี้ความชันของกราฟแบตเตอรี่ Ni-MH ยังมีความชันน้อยกว่าแบตเตอรี่ Alkaline โดยแบตเตอรี่ Ni-MH มีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.2 J/Duty-Cycle ในขณะที่แบตเตอรี่ Alkaline มีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.6 J/Duty-Cycle ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

เพื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่างแบตเตอรี่ 2 ชนิดนี้ จะใช้การคำนวณเพื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของ Unode โดยสมมติให้แบตเตอรี่ทั้งสองชนิดมีความจุพลังงานเท่ากันคือ 200,000 จูล และกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดถูกใช้งานจนหมด มีผลการคำนวณอายุการใช้งานสัมพันธ์กับรอบการส่งข้อมูลตั้งแต่ 0 – 100% ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานแบตเตอรี่ Ni-MH กับ Alkaline เมื่อแบตเตอรี่มีความจุพลังงานเท่ากันที่ 200,000 จูล

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อ Unode ใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานเท่ากันที่ 200,000 จูล อายุการใช้งานของ Unode ที่ใช้แบตเตอรี่ Ni-MH จะมีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 1,040 – 1,155 ชั่วโมง ในขณะที่แบตเตอรี่ Alkaline มีอายุการใช้งานเพียง 691 – 874 ชั่วโมงโดยอายุการใช้งานของ Unode ที่ใช้แบตเตอรี่ Ni-MH จะมีอายุการใช้งานมากกว่า Unode ที่ใช้แบตเตอรี่ Alkaline เฉลี่ย 322 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 42%

ผลจากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ยิ่งเราจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ Unode ต่ำลง อัตราการใช้พลังงานก็จะลดลงตามไปด้วย แต่ในการใช้งานจริง Unode ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ที่มีจำหน่ายทั่วไป ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่ Unode ต้องการ และเมื่อนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน ก็มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการของ Unode ทำให้แบตเตอรี่ต้องสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์

การใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า (Convertor) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่จะช่วยให้การใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ให้อยู่ในช่วงแรงดันใช้งานที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น Unode สามารถทำงานได้ปกติที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด 2.2 โวลต์ ดังนั้น

แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 2.2 โวลต์ (ยิ่งใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำการใช้พลังงานของ Unode ก็ยิ่งน้อยลง) โดยสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้า 2.2 โวลต์ได้จากการนำแบตเตอรี่ที่มีแรงดัน 1.2 หรือ 1.5 โวลต์ มาต่อขนานกัน แล้วยกระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost convertor) ไปที่ 2.2 โวลต์ เมื่อคำนวณเปรียบเทียบอายุการใช้งาน ระหว่างการใช้แรงดันไฟฟ้าจากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่โดยตรง กับการใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเท่ากับ 90% เช่น การใช้ไอซี MCP16301 มีผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่างการใช้แบตเตอรี่ Ni-MH, Alkaline และการใช้วงจรปรับแรงดัน

แบตเตอรี่ (ชนิด/แรงดัน/พลังงาน)	วงจรปรับแรงดัน (ชนิด / Vin to Vout)	อายุ ใช้งาน เฉลี่ย(ช.ม.)
Ni-MH/2.4V/200,000J	ไม่มี	1,094
Alkaline/3.0V/200,000J	ไม่มี	772
Ni-MH/1.2 V/200,000J	Boost / 1.5 to 2.2	1,115
Alkaline/1.5V/200,000J	Boost / 1.5 to 2.2	1,115

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 90% จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิด Ni-MH ที่มีความจุพลังงาน 200,000 จูล์ได้เฉลี่ย 21 ชั่วโมงหรือคิดเป็น 2% และเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิด Alkaline ที่มีความจุพลังงานเท่ากันได้เฉลี่ย 343 ชั่วโมงหรือคิดเป็น 44% ดังนั้นการใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ออกไปได้ ส่วนการตัดสินใจใช้หรือไม่ เป็นสิ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพราะต้องคำนึงถึงระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้ Unode ยังคงทำงานได้ปกติ และผลกระทบจากต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเมื่อต้องเพิ่มวงจรปรับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งต้องหาจุดคุ้มค่าในการใช้งานต่อไป

4. สรุปผลการศึกษา

การจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการขั้นต่ำของเซนเซอร์โหนด จะทำให้เกิดกำลังสูญเสีย ผลจากการทดลองด้วยเซนเซอร์โหนด Unode แสดงให้เห็นว่า การใช้แบตเตอรี่ชนิด Alkaline มาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ แบตเตอรี่จะสูญเสียพลังงานไปเฉลี่ย 60% และการใช้แบตเตอรี่ชนิด Ni-MH มาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้แรงดันไฟฟ้า 2.4 โวลต์ แบตเตอรี่จะสูญเสียพลังงานไปเฉลี่ย 13% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้แบตเตอรี่ Alkaline กับ Ni-MH แบตเตอรี่ Alkaline จะใช้พลังงานมากกว่า Ni-MH เฉลี่ย 42% และที่ความจุพลังงานของแบตเตอรี่เท่ากัน อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ Alkaline จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่า แบตเตอรี่ Ni-MH เฉลี่ย 42% การใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ 90% จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิด Ni-MH และชนิด Alkaline ได้เฉลี่ย 2% และ 44% ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการศึกษายังมีประโยชน์สำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการต่ออนุกรมแบตเตอรี่ ทำให้พลังงานไฟฟ้าบางส่วนของแบตเตอรี่ต้องกลายเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Akyildiz L.F, Vuran M.C. WSN Applications Chapter 2, Wireless Sensor Networks. 1st ed. John Wiley & Sons Ltd; 2010.
- [2] Anastasi G, Conti M, Francesco M.D, Passarella A. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. Ad Hoc Networks 2009; Vol. 7: 537–568.
- [3] Ganesan D, Cerpa A, Ye W, Yu Y, Zhao J, Estrin D. Networking issues in wireless sensor networks. Journal of Parallel and Distributed Computing 2004; 799–814.

- [4] Warriar A, Park S, Mina J, Rhee I. How much energy saving does topology control offer for wireless sensor networks? - a practical study. Elsevier/ACM Computer Communications 2007; Vol. 30: 2867–2879.
- [5] Tang C, Raghavendra C.S. Compression Techniques for Wireless Sensor Networks, in Chapter 10, Book Wireless Sensor Networks. Kluwer Academic Publishers; 2004.
- [6] Wu M, Chen C.W. Multiple Bit Stream Image Transmission over Wireless Sensor Networks Chapter 13, Book Sensor Network Operations. IEEE & Wiley Interscience; 2006.
- [7] Xiong Z, Liveris A.D, Cheng S. Distributed source coding for sensor networks, IEEE Signal Processing Magazine 2004; 21 (5): 80–94.
- [8] Jun H, Ammar M, Zegura E. Power management in delay tolerant networks: a framework and knowledge-based mechanisms, in: Proc. IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communication and Networks; 2005.
- [9] Anastasi G, Conti M, Passarella A, Pelusi L. Mobile-relay forwarding in opportunistic networks, in: M. Ibnkahla, (Ed.), in Chapter 13, Adaptation and Cross Layer Design in Wireless Networks. Taylor and Francis, New York (USA); 2008.

