

# การออกแบบอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเลือก ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa

## Design of Micro Smart Grid for Electric Power Sources Selection Via Internet of Things Using LoRa Technology

ประทีป บุญวงศ์<sup>1</sup> จริญญา คนแรง<sup>1\*</sup> มิ่งขวัญ สมพฤษ<sup>1</sup> กมล บุญล้อม<sup>2</sup> และ อธิคม สิริ<sup>2</sup>  
Prathip Boonwong<sup>1</sup>, Jarun Khonrang<sup>1\*</sup>, Mingkwan Somphruek<sup>1</sup> Kamol Boonlom<sup>2</sup>  
and Atikhom Siri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

<sup>1</sup>Department of Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University

\*Email: Jarun.kho@cru.ac.th

Received: March 28, 2022; Revised: May 06, 2022; Accepted: May 19, 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบไมโครกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบทางเลือกโดยจะมุ่งเน้นการเลือกใช้งานแหล่งจ่ายกำลังงานอยู่ 3 ชนิด คือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากลม และแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้า เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าแบบกริดการไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบยังสามารถแสดงผลสถานะปริมาณไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าโดยส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa ย่านความถี่ 923.4 MHz และแสดงผลผ่าน Web Application ให้แก่ผู้ใช้งานได้ทราบเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ จากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าระบบสามารถเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเวลาโดยมีประสิทธิภาพในการทำงานสามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 1,000 วัตต์ ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการใช้พลังงานทางเลือกที่มีกำลังงานต่ำ และในการส่งข้อมูลระยะทางไกลแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นั้นสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสูงสุดที่ระยะทางเฉลี่ย 1.5 กิโลเมตร โดยสามารถรับสัญญาณได้ต่ำสุดที่ RSSI -105 dBm ที่กำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์เดซิเบล ซึ่งระบบสามารถประหยัดกำลังงานได้มากกว่า 50% ของกำลังงานที่ต้องใช้จ่ายจากการไฟฟ้าทั้งหมดทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบมอโนเตอร์พลังงานและการจัดการพลังงานได้ในอนาคต

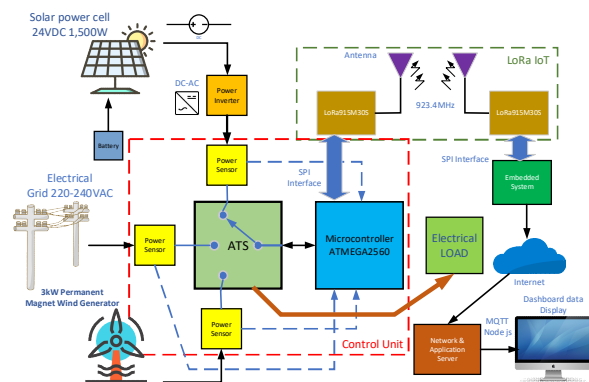
**คำสำคัญ :** ไมโครสมาร์ทกริด, อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง, เทคโนโลยี LoRa

## Abstract

This research presents the design of source selection device for micro smart grid system. The alternative power sources focused on this research are solar cell, wind turbine and power grid which are used in order to provide maximum efficiency of microgrid power management and cost reduction in power grid. The status of power voltage generating from each power sources can be obtained and displayed via Internet of Things using wireless LoRa technology at 923.4 MHz frequency band. These power voltage results are also demonstrated through the web application in which can be conveniently used for data analysis. The experimental results show that micro smart grid system provided proper generator selection to meet the demand in terms of environment and time, effectively. The system gives maximum power of 1000 watts which is suitable for low-power use. Moreover, it can be seen that the average maximum data transmitting range is at 2.45 km with a minimum received RSSI signal gain of -105 dBm at a 20 dBm transmitting power. However, the system can save more than 50% of the total power consumed by electricity. Also, this micro smart grid system can be clearly applied for energy monitoring system and management in the future.

**Keywords :** Micro smart grid, Internet of things, LoRa Technology

## 1. บทนำ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบที่ออกแบบ  
ใช้งานในงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีสมาร์ทกริดมีบทบาทและความสำคัญต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้า เนื่องจากระบบสมาร์ทกริดสามารถจะทำการตัดสินใจในการทำให้โครงข่ายไฟฟ้ามีความสมดุลในกรณีเมื่อเกิดเหตุขัดข้องทางโครงข่ายไฟฟ้าจุดหนึ่ง ระบบสามารถทำการทดแทนจากโครงข่ายอีกแหล่งหนึ่งได้ทำให้ระบบมีความชาญฉลาดมากยิ่งขึ้น ซึ่งหนึ่งส่วนสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบสมาร์ทกริดนั้นคือ การดำเนินการ

เลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่มาจากหลายแหล่งเพื่อนำไปใช้งาน ทั้งนี้ระบบสมาร์ทกริดนั้นมีขนาดที่หลากหลายตั้งแต่ระบบที่มีขนาดมาตรฐานส่วนที่เล็กไปจนถึงระบบสมาร์ทกริดที่ใหญ่ [1], [4-5] และปัจจุบันได้มีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้งานได้หลากหลาย เช่น การนำพลังงานแสงอาทิตย์นำมาใช้งานทดแทน การนำพลังงานลมเพื่อทำการกำเนิดไฟฟ้า การนำพลังงานน้ำเพื่อมาใช้ในการกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น [2-3] ซึ่งแต่ละแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้านั้นมีการใช้งานที่หลากหลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและชนิดของกำลังงานที่สามารถกำเนิดได้ในเวลานั้น ดังนั้นแนวคิดของการนำพลังงานทดแทนจากหลายแหล่งกำเนิดจึงได้นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับงานด้านเทคโนโลยีพลังงานเป็นอย่างมาก แต่สิ่งที่ต้องคำนึงคือ การที่จะมีแหล่งจ่ายกำลังงานหลายแหล่งเข้ามาต่อใช้งานร่วมกันนั้นจำเป็นต้องมีระบบการจัดการและเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานในช่วงเวลาและความต้องการให้เหมาะสมจึงจะเป็นการจัดการพลังงานที่ดีและสมบูรณ์ [6-8] ต่อมาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งได้เข้ามามีบทบาทกับอุตสาหกรรมในหลายๆด้าน และในส่วนของเทคโนโลยีพลังงานนั้นได้มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งมาช่วยในการแสดงผลและจัดการข้อมูล จึงมี

ความสำคัญมากในปัจจุบัน และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งได้เริ่มจากระบบการใช้งานผ่านสายและพัฒนามาสู่การใช้งานแบบไร้สายแต่ในอดีตที่ผ่านมาระบบการใช้งานแบบไร้สายนั้นมีข้อจำกัดที่ระยะทางการส่งข้อมูลมีระยะทางที่สั้นดังนั้นในส่วนงานที่จะต้องส่งข้อมูลในระยะทางไกลแล้วนั้นไม่สามารถทำได้ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งนั้นได้พัฒนาให้มีศักยภาพในการส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลและยังใช้พลังงานที่ต่ำในการส่งข้อมูล ซึ่งหนึ่งในเทคโนโลยีนั้นคือเทคโนโลยี LoRa [3] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลและในการส่งข้อมูลมีการกินกำลังงานที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้งานอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งในอดีตที่ผ่านมา

## 2. ทฤษฎีและการออกแบบ

การจัดการความต้องการใช้กำลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งเข้ามาช่วยในการจัดการ โดยเริ่มจากสามารถแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งคือ เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ขนาด 1,500 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานลมซึ่งมีขนาดกำลังงานไฟฟ้า 3,000 วัตต์และแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า จากกริดการไฟฟ้าที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต่อเนื่อง ในการออกแบบนั้นระบบจะให้ความสำคัญกับพลังงานทางเลือกเป็นหลักซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ทดแทนตามธรรมชาติไม่เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวพลังงาน และเมื่อพลังงานทางเลือกนั้นหมดในช่วงเวลาที่ฉุกเฉินระบบก็จะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้าซึ่งจะสามารถแบ่งโหมดการทำงานของระบบออกเป็น 3 โหมด ดังนี้

**โหมดที่ 1 (Solar Mode)** ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell ( PVs ) สามารถผลิตได้ในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถอธิบายได้ตาม ( $P_{vs} > P_{wb} > P_{Grid}$ ) จะทำให้ ระบบจะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจาก Photovoltaics cell ( PVs ) เป็นหลัก เนื่องจากโหมดนี้จะเป็นโหมดที่กำลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงและทำให้ระบบนั้นมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายจากกริดของการไฟฟ้า และสามารถ

จัดเก็บพลังงานได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละวัน ซึ่งหาได้จากกำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ คือ 1,000 ชั่วโมงต่อวัน และมีอัตราส่วนสมรรถนะเป็นร้อยละ 65 ภายใต้เงื่อนไขที่เกิดขึ้นจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$P_{(Solarreq)} \frac{1,000 Watt/h}{0.65} = 1,538 Watt \quad (1)$$

ดังนั้นในการออกแบบการใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังงานไฟฟ้ามากกว่า 1,500 วัตต์ขึ้นไปซึ่งจะทำให้สามารถจ่ายกำลังงานให้โหลดสูงสุด 1,000 วัตต์ได้

**โหมดที่ 2 (Wind Power mode)** ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell ( PVs ) สามารถผลิตได้ นั้นหมายถึง ( $P_{wb} > P_{vs} > P_{Grid}$ ) ซึ่งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงอาทิตย์มาตกกระทบ ระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานลมซึ่งเมื่อมีพลังงานลมเข้ามาในระบบจึงจะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานลม ซึ่งในการคำนวณหาค่าพลังงานจากลมด้วยกังหันไฟฟ้า โดยกังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร ( $r=1.5$ ) ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที ดังนั้นคำนวณได้จาก สมการที่ 2

$$p_{WB} = \frac{1}{2} \times \text{Airdensity}^3 \times \text{Sweptarea}^2 \times \text{WindVelocity}^3 \quad (2)$$

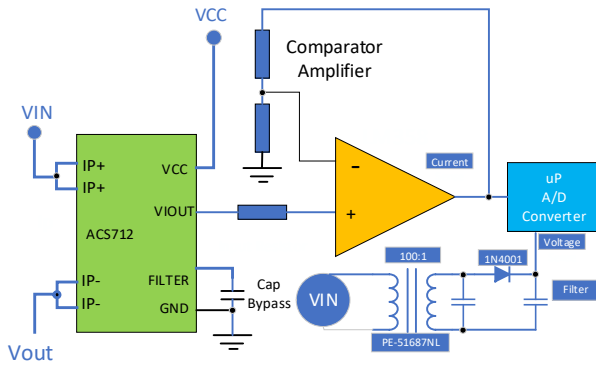
$$= \frac{1}{2} \times 1.2^3 \times \left(\frac{22}{7} \times 1.5^2\right) \times 8^3 = 3,128 Watt$$

ซึ่งในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานสูญเสียซึ่งมีกำลังลดทอนลงที่ 50 % ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1,564 วัตต์ต่อชั่วโมง

**โหมดที่ 3 (Grid mode)** ( $P_{Grid} > P_{vs} > P_{wb}$ ) ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell ( PVs ) และการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากลมนั้นเกิดเหตุขัดข้องคือ ระบบจะทำการเลือกใช้งานแหล่งจ่ายกำลังงานไปยังแหล่งจ่ายกริดของการไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ซึ่งสามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องแต่ข้อเสียคือการเสียค่าใช้จ่ายในการใช้กำลังงานไฟฟ้า

### เซ็นเซอร์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้า

การออกแบบใช้งานเซ็นเซอร์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้านั้น จะอาศัยหลักการวัดแรงดันร่วมกับการวัดกระแสไฟฟ้าซึ่งจะสามารถทำให้หาค่ากำลังงานไฟฟ้าที่โหลดสามารถใช้กระแสได้ในเวลานั้นๆ โดยเซ็นเซอร์ที่ทำการเลือกใช้งานนั้นจะใช้เซ็นเซอร์วัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าเบอร์ ACS712



รูปที่ 2 วงจรเสมือนของวงจรเซ็นเซอร์กำลังไฟฟ้า ที่ออกแบบใช้งานในงานวิจัย

จากรูปที่ 2 สามารถทำการหาค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากการนำหม้อแปลงลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง 100 เท่าและทำการเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 2.5 โวลต์ แบบกระแสตรงและทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นผ่านทางอินพุต อนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถคำนวณค่าแรงดันได้จากสมการที่ 3

$$V_{Out} = \left(\frac{V_{in}}{100} - 0.7\right) \times (\sqrt{2}) = 2.54V \quad (3)$$

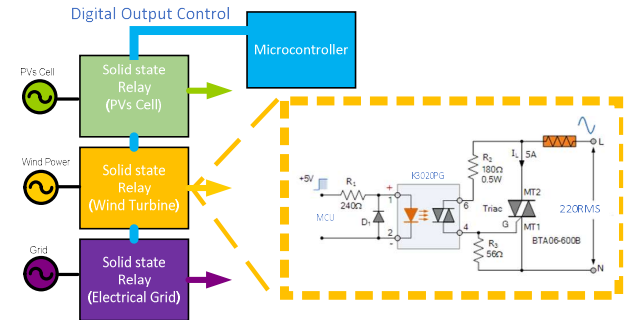
โดยสามารถหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดได้โดยหาค่าจากการอ่านแรงดันอนาล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาด 12 บิต ค่าตั้งแต่ 0-1024 ระดับ จากนั้นทำการแบ่งมาตราส่วนค่าที่ได้จากแรงดัน ออกเป็เซ็นต์ จากเซ็นเซอร์ที่มีค่า 2.5 โวลต์ ให้มีมาตราส่วนเป็นแรงดันจาก 0-5 V และทำการคำนวณหาค่ากระแสได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$V_O = \frac{ADC_{Value}}{1024} \times 5000 \quad (4)$$

$$Current_{Out} = \frac{(V_O - V_{Offset})}{Sensitivity} \quad (5)$$

และสามารถหาค่ากำลังงานไฟฟ้าได้จาก  $P_O = V_O \times Current_{Out}$

### การออกแบบสวิตช์จ่ายกำลังงาน

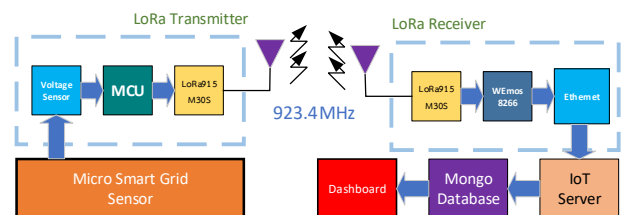


รูปที่ 3 วงจรเสมือนของวงจรสวิตช์อัตโนมัติ(Automatic Transfer Switch, ATS)

การทำงานของระบบ สวิตช์ตัดต่ออัตโนมัติ(Automatic Transfer Switch, ATS) นั้นดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะประกอบไปด้วย วงจรโซลิตสเตรรี่เลย์ขนาด 220 โวลต์ กระแสสลับขนาดกระแส 5 แอมแปร์ เป็นตัวทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 แหล่งโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการควบคุมโดยใช้สัญญาณดิจิทัลทำการทริกเกอร์ให้ทำงาน

### ระบบการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa

จากการออกแบบในงานวิจัยจะใช้โมดูลการสื่อสารอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งด้วยเทคโนโลยี LoRa เบอร์ SX1276 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface : SPI) ทำการส่งข้อมูลที่ช่องสัญญาณความถี่ 923.4 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โดอะแกรมการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ระยะเวลาไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa

โดยจะสามารถหาค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับ  
ในเทอมของพลังงานได้จากสมการที่ 6

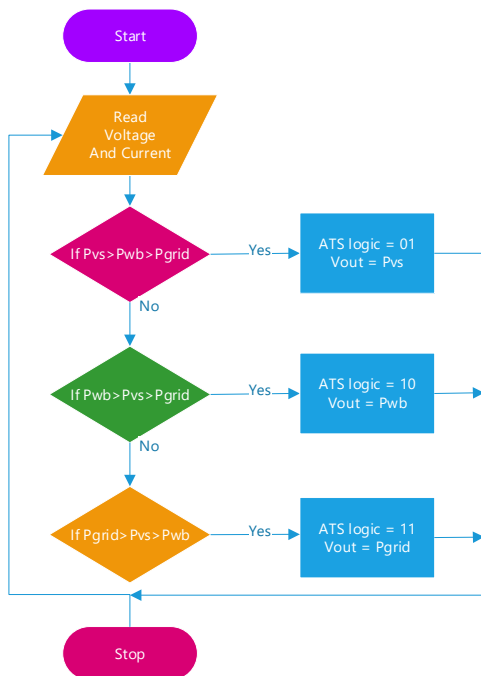
$$RSSI = -10n \log_{10} d + C \quad (6)$$

โดยที่ RSSI ( Received Signal Strength Indicator : RSSI) คือ ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ และสามารถหาค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ SNR ได้จาก สมการที่ 7

$$SNR = 147 + RSSI - P_{tx} - 10 \log_{10} BW - NF \quad (7)$$

โดยที่ SNR ( Signal to Noise Ratio : SNR) คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน

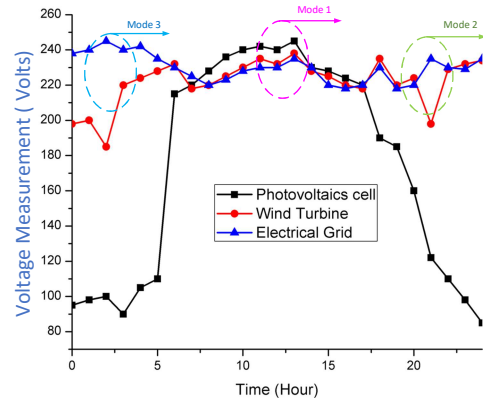
NF (Noise Figure: NF) คือ ตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวนกำหนดให้  $P_{tx}$  คือกำลังส่งของตัวส่งสัญญาณ BW คือความกว้างของคลื่นความถี่ในการรับส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น kHz และ NF (Noise Figure: NF) คือ ตัวเลขที่ใช้ระบุค่าของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับและส่ง



รูปที่ 5 แสดงผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมของอุปกรณ์ ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัย

### 3. การทดลองและผลการทดลอง

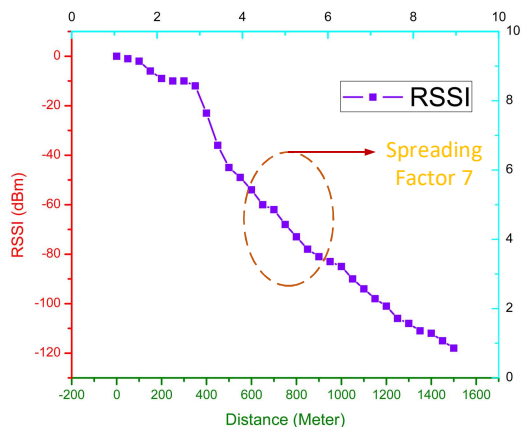
ในการทดลองจะทำการวัดค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งในช่วงเวลา หนึ่งวัน และทำการบันทึกผลการทดลองและทำการทดลองการสลับการใช้งานจากแหล่งจ่ายกำลังงานในทั้ง 3 โหมดที่ตั้งทำการออกแบบไว้ และสุดท้ายทำการทดลองการส่งข้อมูลระยะทางไกลโดยทำการกำหนดค่ากำลังงานส่งของเครื่องส่งไว้ที่ 20 dBm และทำการเปลี่ยนระยะทางของเครื่องรับให้ห่างจากเครื่องส่งออกไป และทำการบันทึกค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ กับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ดังแสดงในรูปกราฟที่ 6 และ 7 (ข) ตามลำดับ



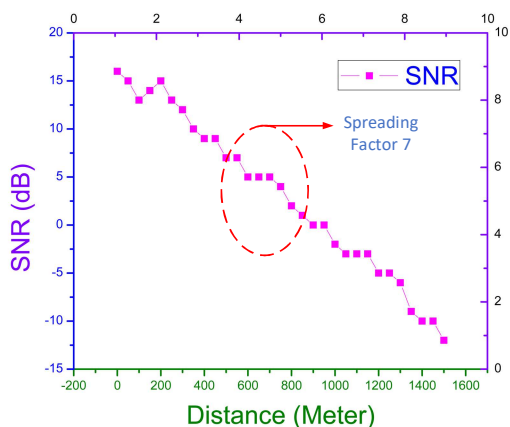
รูปที่ 6 แสดงการวัดแรงดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาและโหมดการทำงาน

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และการกำหนดที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในงาน	การกำหนด
แบนด์วิธ (Bandwidth, BW)	125 kHz
กำลังส่ง	20 dBm
Spreading factor (SF)	7
ช่องความถี่ (Frequency Channel)	923.4 MHz
อัตราการขยายของสายอากาศ	3 dBi



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 (ก) แสดงการวัดค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) และ (ข) SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จากโมดูล SX1276 ที่ระยะทางต่างๆ

จากผลการทดลองทำการวัดแรงดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา และโหมดการทำงาน สามารถบอกได้ว่า ในช่วงเวลาที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองช่วงเวลาตั้งแต่ 0 นาฬิกา ไปจนถึงก่อน 5 นาฬิกานั้นระบบที่สามารถจ่ายกำลังงานในช่วงนี้ได้สูงที่สุดนั่นคือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ระบบที่ทำการออกแบบและสร้างนั้นทำงานในช่วงของโหมดที่ 3 (Grid mode) และเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 นาฬิกาเป็นต้นไปจนถึงช่วงเวลาประมาณ 18 นาฬิกา แสดงให้เห็นว่ากำลังงานที่เข้ามาในระบบนั้นจะมาจากทุกแหล่งจ่ายกำลังงานที่เข้ามาในระบบแต่จากที่ทำการออกแบบนั้นระบบได้ทำการเลือกการใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังงานแบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะทำงานในโหมดที่ 1 (Solar Mode) และหลังจากช่วงเวลาประมาณ 18 นาฬิกาไปจนถึงช่วงเวลา 24 นาฬิกา สามารถสังเกตได้

ว่าแหล่งกำลังงานที่จ่ายเข้ามาในระบบนั้นจะมีเข้ามาอยู่จำนวน 2 แหล่งจ่ายกำลังงานคือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังงานจากพลังงานกักเก็บลม ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวระบบจะทำการสลับการทำงานกันระหว่าง จำนวน 2 แหล่งจ่ายที่กล่าวมานี้

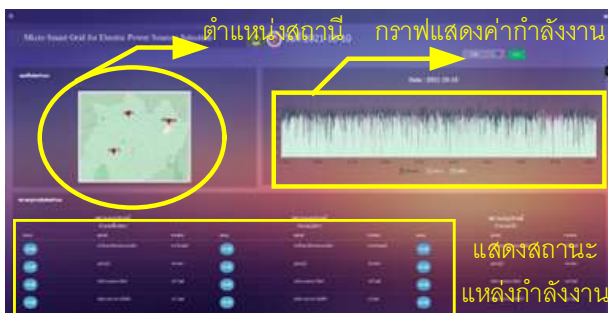
จากการทดลองและทำการวัดสามารถเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับยังมีระยะทางที่ห่างกันมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ยิ่งมีค่าที่น้อยลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมดูลได้รับสัญญาณที่ต่ำ ลงโดยจะอยู่ที่ 1.6 กิโลเมตร จะได้ ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) อยู่ที่ประมาณ -115 dBm และเมื่อระยะทางที่ไกลเกินนี้ จะทำให้ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) นั้นมีค่าที่ต่ำกว่า -120 dBm ซึ่งส่งผลให้โมดูล LoRa นั้นไม่สามารถรับสัญญาณได้และค่า SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จะมีค่าที่ต่ำโดยอยู่ที่ประมาณ -13 dB และมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 15dB และมีระยะเวลาในการส่งข้อมูล เท่ากับ 1 วินาทีต่อการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง และนั่นหมายความว่าค่า SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จะมีค่ามากหรือน้อยอาจเกิดจากปัจจัยที่มีผลต่อการรบกวนสัญญาณด้วยเช่น มีสิ่งบดบังสัญญาณและรบกวนสัญญาณ

จากรูปที่ 8 แสดงหน้าจอแสดงผลสถานะของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด โดยระบบการแสดงผลนั้นถูกออกแบบจากโปรแกรมแสดงผลด้วย node.js และทำการบันทึกค่าข้อมูลลงในฐานข้อมูล ในระบบนั้นสามารถแสดงตำแหน่งของสถานีที่ติดตั้งอุปกรณ์สมาร์ทกริด และในช่องของรูปภาพนั้นจะทำการแสดงผลค่ากำลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังงานทั้งหมด 3 แหล่งจ่ายกำลังงานที่ถูกป้อนเข้ามายังระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบรวมถึงแสดงช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงของกำลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน รวมไปถึงระบบหน้าจอแสดงผลนั้นสามารถแสดงสถานะของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 แหล่งจ่ายกำลังงานแบบเรียลไทม์ (Real-time)

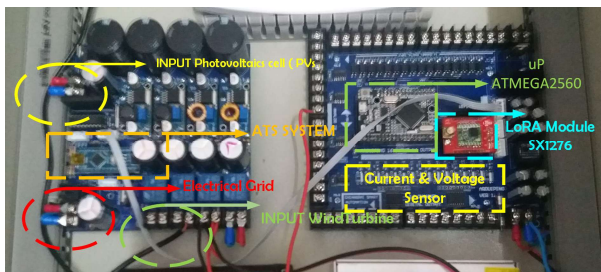
จากรูปที่ 9 แสดงวงจรของระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบในงานวิจัยซึ่งจะประกอบไปด้วยระบบที่ทำการติดต่อกำลังงานไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ซึ่งประกอบไปด้วย



ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560 โมดูลส่งสัญญาณแบบไร้สายโดยใช้เทคโนโลยี LoRa ซึ่งออกแบบใช้งานในย่านความถี่ 923.4 MHz โดยมีชิพ SX1276 ในการทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแบบไร้สาย และวงจรควบคุมนั้นจะประกอบไปด้วยภาคเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการอ่านข้อมูลและทำการประมวลผลค่ากำลังงาน และรูปที่ 10 แสดงสถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งทำการติดตั้งจำนวน 3 จุด สามารถแสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งบนจอแสดงผลโดยใช้ระบบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส GPS ( Global Positioning System: GPS )



รูปที่ 8 แสดงหน้าจอแสดงผลสถานะของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 9 แสดงวงจรที่ทำการสร้างขึ้นของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 10 แสดงสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัย

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างงานวิจัยเรื่องนี้สามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเลือกส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa นั้นสามารถที่จะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้งานและเวลาที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้านั้นมีเพียงพอ ได้ในขนาดกำลังไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 1,000 วัตต์ ระบบยังสามารถส่งข้อมูลแสดงผลได้ในระยะทางไกลที่มีระยะทางมากกว่า 1.5 กิโลเมตร ที่ความถี่ 923.4 MHz ด้วยเทคโนโลยี LoRa ที่กำลังส่งสูงสุด 20 dBm และจากการทำการทดลองสามารถบอกได้ว่าระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบนั้นสามารถช่วยลดกำลังงานสิ้นเปลืองที่ปกติสถานีจะใช้กำลังงานไฟฟ้าจำนวน 1,000 ต่อชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อเพิ่มระบบ ไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบเข้าไประบบจะสามารถประหยัดพลังงานได้จำนวนเฉลี่ย 12-16 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสามารถประหยัดกำลังงานได้มากกว่า 50% ของกำลังงานที่ต้องใช้จ่ายจากการไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นเมื่อทำการคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการใช้กำลังงานไฟฟ้านั้นสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า 50% และระบบมีความคุ้มค่าเมื่อทำการติดตั้งใช้งานในระยะยาว ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านพลังงานทดแทนเช่นอุตสาหกรรมการเกษตรหรืออื่นๆ ได้ในอนาคต

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ภายใต้การสนับสนุนสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) หน่วยงานด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย รหัสโครงการ A6403 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Chaimoon and K. Boonlom, "Assessment of IoT LoRaWAN for Smart Cities : Use for Environmental Monitoring," in Proceeding of 41<sup>st</sup> Electrical Engineering Conference. Ubon

- Ratchathani, Thailand, November 21-23, 2018, pp. 121-124. (in Thai)
- [2] S. Chaimoon and K. Boonlom, “Connection Technology and Wireless Networks for the Internet of Things,” in Proceeding of 11<sup>th</sup> ECTI-CARD 2019 National Academic Conference, Ubon Ratchathani, Thailand, June 4-7, 2019, pp. 207-210. (in Thai)
- [3] P. Arakkid, K. Boonlom, and S. Chaimoon, “Low Cost Particulate Pollution Measurement System Using LoRaWAN Technology for Smart Cities,” in Proceeding of 11<sup>th</sup> ECTI-CARD 2019 National Academic Conference. Ubon Ratchathani Thailand, June 4-7, 2019, pp. 232-235. (in Thai)
- [4] L. Yanwen, H. Jiang, L. Hongjuan, W. Lebin, “Application of the distributed generation, micro and smart power grid in the urban planning”, in Proceeding of The IEEE 4<sup>th</sup> Annual International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, Hong Kong, China , June 4-7, 2014, pp. 455-463.
- [5] S. Kai , B. Yanbing, J. Lin, “Middleware-based implementation of smart micro-grid monitoring using data distribution service over IP networks,” in Proceeding of The 49<sup>th</sup> International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Cluj-Napoca, Romania, September 02-05, 2014, pp.354-362.
- [6] H. Rui, W. Hai-yuan, S. Li-man , C. Hao , “Research on the power utilization strategy of smart power community integrated with micro-grid system,” in Proceeding of The 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), Ottawa, Canada, December 29-30, 2014, pp. 448-456.
- [7] L. Ringo P.K., L. Loi Lei, L. Chun Sing, “Design and Application of Smart Metering System for Micro Grid,” in Proceeding of The 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Manchester, UK , January 27, 2014, pp. 473-482.
- [8] F. Siyao, Y. Wenjun, W Haifeng, “Integrated micro-grid optimization and control technology,” in Proceeding of The 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Beijing, China. 12 April 2012, pp.519-528.