# การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์

สุรัติ พัฒนา

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

# การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์

สุรัติ พัฒนา

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์"

ของ สุรัติ พัฒนา

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

**คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์**

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ยอดธง เม่นสิน)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย)

**อนุมัติ**

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

**ชื่อเรื่อง** การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์

**ผู้วิจัย** สุรัติ พัฒนา

**ประธานที่ปรึกษา** ดร.ยอดธง เม่นสิน

**ประเภทสารนิพนธ์** วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564

**คำสำคัญ** ระบบ 5G ESP8266 ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก วัตต์มิเตอร์ สมาร์ทมิเตอร์

## บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์ โดยระบบตรวจวัดพลังงานที่พัฒนาขึ้นนี้ จัดทำขึ้นในรูปแบบของโมเดลจำลองเพื่อสาธิตการทำงานของระบบ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก (ESP8266) เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานรุ่นเก่าแบบอนาล็อก ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อแสดงให้เห็นการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ในการตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการทดสอบการทำงานของระบบเป็นระยะเวลา 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายและจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลได้ สามารถสรุปผลจากการวิจัยได้ว่า การพัฒนาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์ด้วยอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนระบบวัตต์มิเตอร์รุ่นเก่าให้เป็น Smart meter ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลการตรวจวัดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเพื่อวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า รวมถึงการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดความเสี่ยงในการหยุดทำงานของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้

**Title** A DEVELOPMENT OF REAL-TIME POWER FLOW PLATFORM USING WITH SMART METERING CONCEPT

**Author** SURAT PATTANA

**Advisor** Yodthong Mensin, Ph.D.

**Academic Paper** M.S. Thesis in Smart Grid Technology, Naresuan University, 2021

**Keywords** 5G ESP8266 Microcontroller Wattmeter Smart meter

## ABSTRACT

This research aims to develop real-time power monitoring systems based on smart meter concepts. An energy monitoring platform is created for demonstrate the remote monitoring of the metering infrastructure in the real time. To make the system low-cost with older analog energy monitoring devices, energy monitoring uses small microcontroller technology (ESP8266) to monitor and record the real time power and energy consumption. The system was installed and tested for a period of 3 months. The device is capable to transmit the data at set time interval using Wi-Fi communication and recording in Firebase Database. The results showed that the system provide reading, transfer and record the electricity consumption data to database. We tested the accuracy of the sensors with lighting device. To summary, the system can work efficiently, reduce the cost of turning older wattage meters into smart meters. Moreover, the energy consumption data can help the consumer to plan for reduce the electricity consumption and maintenance of equipment to reduce the downtime of electricity supply systems.

# ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของท่านผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย ผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศสมาร์ตกริดเทคโนโลยีแห่งเอเชียแปซิฟิก

2. ดร.ยอดธง เม่นสิน รองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

3. ดร.พรทิพย์ เม่นสิน

4. นายอิทธิรงค์ ทองย้อย ผู้จัดการงานเทคนิคบริษัท แม็กไลท์ แอลอีดี จำกัด

ที่ได้อุตส่าห์สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ พร้อมทั้งสนับสนุนการดำเนินการวิจัย ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิค ตลอดจนพี่ๆ นิสิต วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริด มหาวิยาลัยนเรศวร ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสมาร์ตกริดในประเทศและผู้สนใจ

สุรัติ พัฒนา

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

ประกาศคุณูปการ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

ความเป็นมา ..... 1

ปัญหา ..... 1

จุดมุ่งหมายของการศึกษา ..... 3

ขอบเขตการศึกษา ..... 3

ประโยชน์ที่จะได้รับ ..... 3

แนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 6

ระบบสื่อสารไร้สาย ..... 6

อุปกรณ์วัดค่าพลังงาน ..... 7

การรับส่งข้อมูล ..... 9

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 10

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....15
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยเพื่อการวิจัย.....16
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....16
ออกแบบอุปกรณ์และการเชื่อมต่อ.....18
การจัดเก็บข้อมูล.....20
การแสดงผลข้อมูล.....20
การออกแบบและสร้างชิ้นงาน.....22
การประกอบชิ้นงาน.....22
การทดสอบการวัดค่าพลังงานและการบันทึกข้อมูล.....24
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....25
การบันทึกข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย.....25
การทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า.....27
ขั้นตอนการทดสอบ.....27
บทที่ 5 บทสรุป.....30
สรุปผลด้านการทำงานของอุปกรณ์.....30
สรุปผลด้านฟังก์ชันการทำงาน.....30
สรุปผลด้านการนำไปใช้งาน.....30
ข้อเสนอแนะและอุปสรรค.....31
ข้อควรระวัง ในการพัฒนาซอฟต์แวร์.....32
ความเห็นของผู้พัฒนาซอฟต์แวร์.....32
คำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ.....32
บรรณานุกรม.....34

ภาคผนวก.....37

ประวัติผู้วิจัย.....50

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตาราง 1 ผลการเปรียบเทียบการวัดค่าพลังงานของอุปกรณ์ต้นแบบกับวัตต์มิเตอร์อนาล็อก .....28

# สารบัญภาพ

**หน้า**

ภาพ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....15

ภาพ 2 NodeMCU ESP8266-12E .....17

ภาพ 3 AC Digital Power Energy Meter Module (PZEM-004T v.3) .....18

ภาพ 4 การเชื่อมต่อ NodeMcu ESP8266-12E กับ PZEM-004T v.3 .....19

ภาพ 5 แสดงค่าบริการ Firebase Realtime Database .....20

ภาพ 6 เว็บไซต์ Fireboard.xyz สำหรับการแสดงผลข้อมูล .....21

ภาพ 7 การแสดงผลข้อมูลหน้าเว็บ Fireboard.xyz .....22

ภาพ 8 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ .....23

ภาพ 9 ชิ้นงานต้นแบบ Smart meter-1 .....23

ภาพ 10 ชิ้นงานต้นแบบ Smart meter-2 .....24

ภาพ 11 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -43dbm. .....25

ภาพ 12 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -41dbm. ถึง -43dbm. .....26

ภาพ 13 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -62dbm. ถึง -67dbm. .....26

ภาพ 14 กราฟแสดง การเปรียบเทียบการวัดค่าพลังงานอุปกรณ์ต้นแบบ กับ แคลมป์มิเตอร์ .....28

ภาพ 15 การตั้งค่า Google Firebase Database .....39

ภาพ 16 การตั้งค่าการแสดงผล .....40

ภาพ 17 ผลการบันทึกข้อมูล .....40

ภาพ 18 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 07/01/2021 ถึง 31/01/2021 ..... 41

ภาพ 19 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/02/2021 ถึง 28/02/2021 ..... 41

ภาพ 20 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/03/2021 ถึง 30/03/2021 ..... 42

ภาพ 21 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/04/2021 ถึง 30/04/2021 ..... 42

ภาพ 22 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/05/2021 ถึง 31/05/2021 ..... 43

ภาพ 23 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/06/2021 ถึง 28/06/2021 ..... 43

ภาพ 24 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 03/07/2021 ถึง 07/07/2021 ..... 44

ภาพ 25 การเชื่อมต่อ Access point ..... 45

ภาพ 26 Login เข้าสู่ระบบ ..... 46

ภาพ 27 ใส่ค่าสำหรับการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย ..... 46

ภาพ 28 Wiring diagram ..... 47

ภาพ 29 อุปกรณ์ต้นแบบ ..... 47

ภาพ 30 การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการทดสอบ ..... 48

# บทที่ 1

# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

**ความเป็นมา** ในปัจจุบันนี้เรื่องของการเปลี่ยนแปลงเรื่องของการใช้พลังงานมีสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เป็นไปอย่างก้าวกระโดด เรื่องของการใช้พลังงานทดแทน (Renewable) เข้ามามีส่วนร่วมในการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันกันมากยิ่งขึ้น เรื่องของระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) กำลังเข้ามาสู่สังคม เรื่องของการใช้รถไฟฟ้ากำลังเกิดขึ้นในเมืองต่างๆ ทั่วโลก จากเหตุผลเรื่องการตระหนักถึงเรื่องการลดใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานฟอสซิล เนื่องจากมีมลพิษสูงและส่งผลสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งนักวิจัยกล่าวไว้ว่าเป็นต้นเหตุที่ทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น จึงทำให้มีการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานสะอาดกันมากขึ้น ปัจจุบันได้มีการนำเอาแผงโซล่าเซลล์ เข้ามาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในตอนกลางวันและประจุลงแบตเตอรี่ (Energy storage) เพื่อเก็บไว้ใช้ในเวลากลางคืน เพื่อต้องการลดการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหลักของประเทศ (Centralize Power Grid) ซึ่งการพัฒนาการการใช้พลังงานดังกล่าวจึงทำให้มีการคิดค้นเรื่องของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งทำให้ผู้บริหารจัดการพลังงานทราบถึงปริมาณความต้องการ การใช้พลังงานของภาคประชาชนที่ต้องการ การใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีระบบวัตต์มิเตอร์ที่เป็นดิจิตอลแล้ว การส่งข้อมูลจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ต้องถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีหลากหลายทั้งราคาถูกและแพง แตกต่างกันไปในแต่ละผู้ผลิตที่ได้รับการยอมรับจากสังคมผู้ใช้งาน การบริหารจัดการพลังงานจึงเป็นเรื่องที่เริ่มง่ายขึ้น แต่เรื่องของต้นทุนยังเป็นเรื่องที่ต้องถูกนำมาพิจารณาต่อไป

**ปัญหา** ปัญหาที่น่าสนใจคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบการอ่านมิเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการบริหารจัดการพลังงานในแง่มุมต่าง ๆ ปัญหาที่ตามมาคือ เรื่องของต้นทุนที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากขึ้น เพื่อให้ได้ระบบที่ต้องการนำมาใช้งาน เรื่องระบบการสื่อสารจะใช้ในรูปแบบใดที่จะทำให้ระบบมีความเสถียร เรื่องการนำเอาดิจิตอลวัตต์มิเตอร์รุ่นใหม่เข้ามาทดแทน วัตต์มิเตอร์รุ่นเก่าซึ่งยังสามารถใช้งานได้อย่างดี จะทำให้เกิดปัญหาเรื่องต้นทุนอย่างเห็นได้อย่างชัดเจน ปัญหาคือจะทำอย่างไรกับวัตต์มิเตอร์รุ่นเก่า สิ่งที่ได้รับกลับมาอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในปัจจุบัน แต่กลับกันเราสามารถนำเอาอุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่สามารถแปลงค่าจากอนาล็อกมาเป็นดิจิตอล มาต่อเชื่อมกับระบบเก่าได้โดยไม่ต้องดัดแปลงอะไร ก็สามารถรับทราบข้อมูลแบบออนไลน์ได้เหมือนกัน แต่ปัญหาคือ ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดมีทั้งราคาถูกและราคาแพง ตามคุณภาพของอุปกรณ์ แต่สิ่งที่ไม่มีเหมือนกันคือระบบสื่อสาร ที่จะทำการส่งข้อมูลให้กับผู้บริหารจัดการระบบ

จึงต้องหาระบบสื่อสารเข้ามาเชื่อมต่อเพิ่มเติมกับดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มเติม ไม่เพียงแต่ระบบวัตต์มิเตอร์ของผู้ให้บริการด้านพลังงานหรือการการไฟฟ้าฯ แต่แม้กระทั่งอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ รุ่นใหม่ๆ เองก็ยังมีปัญหาเมื่อหลังจากหมดระยะเวลาการการันตี ซึ่งพบว่าไม่สามารถแสดงข้อมูลแบบออนไลน์ได้ เนื่องจากผู้จำหน่ายงดการสนับสนุนทางด้านข้อมูลแบบไม่เสียค่าใช้จ่ายและผู้ใช้งานเองก็ไม่สามารถที่จะทำการย้ายเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อแสดงผลได้ จึงเหมือนกับถูกบังคับให้ซื้อบริการต่อ ซึ่งอาจมีราคาแพงและเรื่องของความปลอดภัยของระบบข้อมูลด้วย โดยปัญหาที่พบในปัจจุบันโดยสรุปมีดังนี้

1. อุปกรณ์ที่มีขายในปัจจุบันแบบสำเร็จรูปมีราคาสูง
2. เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในส่วนของการสื่อสาร ไม่มีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้แหล่งเก็บข้อมูล
3. อุปกรณ์ที่เป็นอินเวอร์เตอร์รุ่นเก่าไม่มีส่วนของระบบการสื่อสาร ทำให้ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานหรือพลังงานที่ผลิตได้
4. อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์รุ่นใหม่หากหมดการรับการันตีจากผู้ขาย มักมีปัญหาเรื่องของการแสดงผลและการเก็บรวบรวมข้อมูลในการใช้พลังงานและการผลิตพลังงาน
5. ผู้ใช้งานไม่สามารถเลือกแหล่งเก็บข้อมูลได้ตามความต้องการ หากมีความต้องการใช้งานระบบเก็บและแสดงผลข้อมูล อาจถูกบังคับให้ซื้อบริการในราคาแพง
6. เทคโนโลยีการสื่อสารรุ่นเก่ามีค่าบริการสูงกว่า เทคโนโลยีรุ่นใหม่
7. การวางแผนการบำรุงรักษา หรือการวางแผนการให้บริการทำได้ยาก

ในแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้ทำการศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาโปรเซสเซอร์ขนาดเล็กซึ่งกำลังเป็นที่นิยมสำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์มาใช้ในส่วนของการสื่อสารในการรวบรวมและนำส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่าพลังงาน เพื่อนำไปเก็บยังระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์และแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาถูก และเป็นการต่อยอดนวัตกรรมที่มีอยู่แล้ว เป็นชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลที่เราต้องการแล้ว จะทำให้การลงทุนนั้นจะคุ้มค่ากว่าการที่จะเปลี่ยนอุปกรณ์รุ่นใหม่เพียงแค่ต้องการ การแสดงผลแบบออนไลน์เท่านั้น

ดังนั้นหากเราสามารถนำอุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่สามารถแปลงค่าที่ได้จากการวัดจากระบบอนาล็อกมาเป็นดิจิตอลมาทำงานร่วมกับโปรเซสเซอร์ขนาดเล็กและราคาถูก เพื่อรวบรวมและนำส่งข้อมูลสู่ระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคราวด์เซิร์ฟเวอร์ได้ จะทำให้เราสามารถลดต้นทุนได้ และรับรู้ค่าต่างๆ ของการใช้พลังงานหรือการผลิตพลังงานได้แบบออนไลน์และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มมูลค่าของอุปกรณ์วัดค่าพลังงานรุ่นเก่า อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการต่อยอดนวัตกรรมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้อีกด้วย

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้แนวความคิด “การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์”

**จุดมุ่งหมายของการศึกษา**

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับอุปกรณ์โปรเซสเซอร์ขนาดเล็กในการส่งข้อมูล ผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. เพื่อวัดผลและทดสอบความถูกต้องของข้อมูลระบบที่พัฒนาขึ้นบนโปรเซสเซอร์ขนาดเล็ก โดยเทียบกับค่าข้อมูลมาตรฐาน

**ขอบเขตการศึกษา**

1. การศึกษาในครั้งนี้ มุ่งศึกษาเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นโปรเซสเซอร์ขนาดเล็ก ราคาถูก ที่เป็นนวัตกรรมที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดและเป็นที่นิยมของนักพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายไปเก็บยังระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคราวด์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลที่วัดได้ผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์

3. ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ คือ กลุ่มข้อมูลจากผู้ใช้งานที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ผลิตพลังงานไฟฟ้าและใช้อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ รุ่นที่ไม่สามารถส่งค่าการผลิตพลังงานที่ผลิตได้ หรือผู้ใช้งานวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ารุ่นเก่า ผ่านทางระบบออนไลน์ เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนา

4. ค่าที่จะทำการวัด คือ Voltage, Current, Power, Energy, Power factor, Frequency

5. การทดสอบ จะดำเนินการวัดค่า จัดส่งค่า และเก็บข้อมูล ในไฟฟ้าระบบ Single phase เท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึง ไฟฟ้าระบบ 3 Phase

**ประโยชน์ที่จะได้รับ**

ประโยชน์ที่ผู้ศึกษามุ่งหวังที่จะได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้

1. เป็นต้นแบบของระบบซอฟต์แวร์การตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้กับโปรเซสเซอร์ขนาดเล็กในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าราคาท้องตลาด

2. สามารถเพิ่มมูลค่าอุปกรณ์วัดค่าพลังงานรุ่นเก่า และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ตรวจวัดอัจฉริยะ (Smart meter)

3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ และลดความเสี่ยงในการหยุดการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าได้

4. เพื่อเป็นแนวทางศึกษาพัฒนาการผลิตสมาร์ทมิเตอร์ต่อไปในอนาคต

**แนวคิดที่ใช้ในการศึกษา**

ในยุคของ Energy disruption การสื่อสารระบบ 5G ปัจจุบันได้มีการนำเอาแผงโซล่าเซลล์เข้ามาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในตอนกลางวันและประจุลงแบตเตอรี่ (Energy storage) เพื่อเก็บไว้ใช้ในเวลากลางคืน เพื่อต้องการลดการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหลักของประเทศ (Centralize Power Grid) ซึ่งการพัฒนาการใช้พลังงานดังกล่าวจึงทำให้มีการคิดค้นเรื่องของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งทำให้ผู้บริหารจัดการพลังงานทราบถึงปริมาณความต้องการ การใช้พลังงานของภาคประชาชนที่ต้องการ การใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีดิจิตอลวัตต์มิเตอร์แล้ว การส่งข้อมูลจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ต้องถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีหลากหลายทั้งราคาถูกและแพง แตกต่างกันไปในแต่ละผู้ผลิตที่ได้รับการยอมรับจากสังคมผู้ใช้งาน การบริหารจัดการพลังงานจึงเป็นเรื่องที่เริ่มง่ายขึ้น แต่เรื่องของต้นทุนยังเป็นเรื่องที่ต้องถูกนำมาพิจารณาต่อไป

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบการอ่านมิเตอร์ ปัญหาที่ตามมาคือ เรื่องของต้นทุนที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากขึ้น เพื่อให้ได้ระบบที่ต้องการนำมาใช้งาน เรื่องระบบการสื่อสารที่จะนำมาใช้รูปแบบใดที่จะทำให้ระบบมีความเสถียร การนำเอาดิจิตอลวัตต์มิเตอร์รุ่นใหม่เข้ามาทดแทน วัตต์มิเตอร์รุ่นเก่าซึ่งยังสามารถใช้งานได้อย่างดี จะทำให้เกิดปัญหาเรื่องต้นทุนอย่างเห็นได้อย่างชัดเจน ปัญหาคือ จะทำอย่างไรกับวัตต์มิเตอร์รุ่นเก่า สิ่งที่ได้รับกลับมาอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในปัจจุบัน แต่กลับกัน เราสามารถนำเอาอุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่สามารถแปลงค่าจากอนาล็อกมาเป็นดิจิตอล มาต่อเชื่อมกับระบบเก่าได้โดยไม่ต้องดัดแปลงอะไร จะทำให้สามารถรับทราบข้อมูลแบบออนไลน์ได้เหมือนกัน จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาโปรเซสเซอร์ขนาดเล็ก ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมสำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์มาใช้ในส่วนของการสื่อสารในการรวบรวมและนำส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่าพลังงานเพื่อนำไปเก็บยังระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาถูกและเป็นการต่อยอดนวัตกรรมที่มีอยู่แล้ว จะทำให้การลงทุนนั้นคุ้มค่ากว่าการที่จะเปลี่ยนอุปกรณ์รุ่นใหม่เพียงแค่ต้องการ การแสดงผลแบบออนไลน์เท่านั้น

ดังนั้นหากเราสามารถนำอุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่สามารถแปลงค่าที่ได้จากการวัดจากระบบอนาล็อกมาเป็นดิจิตอลมาทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กและราคาถูก เพื่อรวบรวมและนำส่งข้อมูลสู่ระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคราวด์เซิร์ฟเวอร์ได้ จะทำให้เราสามารถลดต้นทุนได้และรับรู้ค่าต่าง ๆ ของการใช้พลังงานหรือการผลิตพลังงานได้แบบออนไลน์และยังเป็นการเพิ่ม

ประสิทธิภาพและเพิ่มมูลค่าของอุปกรณ์วัดค่าพลังงานรุ่นเก่า อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการต่อยอดนวัตกรรมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้อีกด้วย

ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้แนวความคิด “การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์”

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ระบบสื่อสารไร้สาย

การสื่อสารของระบบไร้สาย (Wi-Fi) ตามมาตรฐาน IEEE802.11 b/g/n (1) ซึ่งมีรายละเอียดจำแนกออกตามมาตรฐานดังนี้

**1. มาตรฐาน IEEE802.11b**

802.11b เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz (คลื่นความถี่นี้สามารถใช้งานแบบสาธารณะในประเทศไทยได้) มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 11 Mbps ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐานนี้จะมีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณไปได้ไกลประมาณ 38 เมตรในโครงสร้างปิด และ 140 เมตร รวมถึงสัญญาณสามารถทะลุทะลวงโครงสร้างตึกได้มากกว่าอุปกรณ์ที่รองรับกับมาตรฐาน IEEE802.11a อุปกรณ์ทุกยี่ห้อต้องผ่านการตรวจสอบจาก Wi-Fi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์และความเข้ากันได้ของผู้ผลิต

อุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐาน 802.11b จะใช้ในภาคธุรกิจ การศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังจะนำไปใช้ในบ้านพักอาศัย มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 Bit

**2. มาตรฐาน IEEE802.11g**

802.11g ใช้ความถี่ 2.4 GHz สามารถรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 36 – 54 Mbps ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b โดยที่มาตรฐาน 802.11g สามารถปรับระดับความเร็วในการสื่อสารลดลงเหลือ 2 Mbps ได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้งาน มาตรฐานนี้ได้รับความนิยมในผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก และกำลังเข้ามาแทนที่ 802.11b ที่ความเร็วต่ำกว่า นอกจากนี้ มีบางผลิตภัณฑ์ใช้เทคโนโลยีเฉพาะเข้ามาเสริม ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิม 54 Mbps เป็น 108 Mbps แต่มีข้อจำกัดที่อุปกรณ์ดังกล่าวต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาจากบริษัทเดียวกัน ความสามารถนี้เกิดจาก (Chip) การกระจายสัญญาณของตัวอุปกรณ์ที่ผู้พัฒนาบางรายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณเป็น 2 เท่า ของการรับส่งสัญญาณได้ แต่จะเกิดปัญหาของการกระจายสัญญาณนี้จะมีผลทำให้อุปกรณ์ไร้สายในมาตรฐาน IEEE802.11 มีประสิทธิภาพลดลงไปด้วย

**3. มาตรฐาน IEEE802.11n**

802.11n สามารถทำงานบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz รองรับความเร็วตั้งแต่ 300 – 450 Mbps โดยมีเสาสัญญาณ 2 – 4 เสา บนตัวอุปกรณ์กระจายสัญญาณ มีความสามารถในการส่งสัญญาณได้ระยะประมาณ 70 เมตร ในโครงสร้างแบบปิด และ ระยะทางประมาณ 250 เมตร

ในสภาพพื้นที่โล่งแจ้ง หากผู้ใช้งานต้องการความเร็วสูงสุด อุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น คอมพิวเตอร์พกพา หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ต้องรองรับมาตรฐาน 802.11n ด้วย มาตรฐาน 802.11n สามารถทำงานร่วมกับ 802.11b, g ได้ โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลงเหมือนมาตรฐาน 802.11g เมื่อมีอุปกรณ์ 802.11b เข้ามาใช้งานร่วมกัน

**อุปกรณ์วัดค่าพลังงาน**

อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า มีส่วนสำคัญในการแสดงถึงค่าพลังงานที่ได้มีการใช้งานซึ่งองค์ประกอบที่จำเป็นในการทำงานและค่าต่างๆ ที่มีความจำเป็นที่ต้องนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้

**รูปแบบด้านการสื่อสาร**

1. การสื่อสารรูปแบบ RS-485(2) เป็นการสื่อสารที่นิยมใช้กันมากในงานระบบสื่อสารในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

**1.1 ข้อดี**

1.1.1 RS-485 มีความสามารถส่งสัญญาณได้ไกลสูงสุดถึง 1,200 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ไกลมาก เพียงพอต่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการส่งสัญญาณได้ถูกพัฒนาขึ้นมากจากมาตรฐานเก่าอย่าง RS232 ที่มีความสามารถส่งสัญญาณได้เพียง 15 เมตร

1.1.2 RS-485 มีความสามารถเชื่อมต่อแบบเครือข่ายได้ (Network) แบบ Multipoint ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้ถึง 32 ตัว

1.1.3 RS-485 ใช้สายไฟเพียง 2 เส้น ในการรับส่งข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเก่าอย่าง RS422 ซึ่งใช้สายไฟ 4 เส้นในการรับส่งข้อมูลทำให้ประหยัดงบประมาณ

**1.2 ข้อเสีย**

1.2.1 RS-485 ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง ต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ (Converter) จาก RS-485 เป็น Port USB หรือ RS232

1.2.2 ความเร็วในการรับส่งข้อมูลมีความล่าช้า เมื่อเชื่อมต่อในลักษณะของเครือข่าย

2. การสื่อสารรูปแบบ Ethernet เป็นการสื่อสารที่ได้รับความนิยมในการใช้งานการเข้าถึงระบบสารสนเทศมากที่สุด ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

**2.1 ข้อดี**

2.1.1 มีความรวดเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงมาก รวมถึงรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลในรูปแบบ Full-Duplex ได้เป็นอย่างดี

2.1.2 ง่ายต่อการใช้งานไม่ต้องแปลงสัญญาณใดๆ สามารถต่อสาย LAN เข้ากับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

**2.2 ข้อเสีย**

2.2.1 ระยะทางในการส่งสัญญาณมีข้อจำกัด เมื่อเทียบกับ RS-485 ระยะทางค่อนข้างสั้น คือระยะทางสูงสุดไม่เกิน 100 เมตร หากต้องการส่งสัญญาณในระยะไกลต้องมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

2.2.2 สาย LAN มีราคาสูง เมื่อเทียบกับสาย 2 Core แบบมีชิลด์ เมื่อต่อเข้ากับระบบจำนวนมากต้องมี Switch hub ในการเชื่อมต่อ

3. การสื่อสารรูปแบบ USB เป็นรูปแบบการสื่อสารที่ง่าย เพียงแค่ต่อสาย USB ก็สามารถต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ได้เลยโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

**3.1 ข้อดี**

3.1.1 ง่ายต่อการใช้งานเพียงแค่ต่อสาย USB ก็สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

3.1.2 มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูง การตอบสนองได้ทันที

**3.2 ข้อเสีย**

3.2.1 มีระยะทางที่ใช้งานสั้นมาก การเชื่อมต่อที่ดีที่สุดไม่เกิน 5 เมตร

3.2.2 ต้องติดตั้ง Driver USB ก่อนการใช้งานในบางกรณี

**Modbus Protocol ที่ใช้ในงานการสื่อสารของ Power Meter**

Modbus Protocol คือการสื่อสารตามมาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม( Serial Communications Protocol) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบการทำงานแบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม(Industrial Automation Systems: IAS) เพื่อสร้างการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ เช่น การควบคุมอุปกรณ์พีแอลซี (Programmable Logic Controllers: PLC) อุปกร์ตรวจวัด (Sensor) อุปกรณ์เครื่องกลต่าง ๆ (Actuator) หน่วยตรวจวัดระยะไกล (Remote Terminal Unit: RTU) รวมถึงระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมและแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ (Supervisory control and Data acquisition: SCADA) โดย Modbus พัฒนาขึ้นปี ค.ศ. 1979 โดย Modicon (ปัจจุบัน คือ Schneider Electric) เป็นโปรโตคอลที่ถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความง่ายในการใช้งานและมีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ Modbus RTU และ Modbus TCP/IP (Modbus-TCP) โดยต่างกันที่โปรโตคอลสื่อสารที่ใช้งาน ในระบบ Modbus RTU จะใช้การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial-based Protocol) Modbus-TCP จะใช้การสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet-based Protocol) ซึ่งทั้งสองรูปแบบจะแตกต่างกันที่ความเร็วและระยะทางในการรับส่งข้อมูล โดย Modbus RTU สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลได้ระยะทางสูงสุด 1.2

กิโลเมตร ที่ความเร็วข้อมูล 57.6 kbps ในขณะที่ Modbus TCP สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลได้ระยะทางสูงสุด 100 เมตร ที่ความเร็วสูงสุด 100 Mbps ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบ สามารถใช้งานในระบบ Power Meter ได้ทั้ง 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบอุปกรณ์ที่ใช้งาน เช่น PLC HMI รองรับ TCP ก็สามารถใช้งานในรูบแบบ TCP ที่วิ่งผ่าน RS-485 ได้เช่นกัน ในอุปกรณ์ที่รองรับ RTU สามารถใช้ในรูปแบบ LAN หรือ USB ก็ได้

**การรับส่งข้อมูล**

**JSON** ย่อมาจาก Java Script Object Notation เป็นรูปแบบมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อความ ซึ่งขนาดของ JSON ข้อความจะมีขนาดเล็ก มีรูปแบบโครงสร้างที่อ่านเข้าใจง่าย ทั้งมนุษย์และโปรแกรม โดย JSON นี้สร้างขึ้นมาจากภาษา Java Script ภายใต้มาตรฐาน ECMA-262 3rd Edition (3) ถึงแม้ JSON จะถูกกสร้างมาจาก Java Script แต่ภาษาต่าง ๆ ก็ไม่ได้มอง JSON เป็นภาษา Java Script แต่จะมองเป็น Object ชนิดหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น JSON จึงสามารถใช้ได้กับทุกภาษา เช่น ภาษา C, C++, C#, Java, Java Script, Perl, Python, HTML และภาษาอื่น ๆ มาตรฐานของ JSON สามารถดูได้จาก ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard

JSON เป็นโครงสร้างข้อมูลชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานร่วมกับภาษา Java Script ได้อย่างมีประสิทธิภาพ JSON เป็นโครงสร้างที่เหมาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูล การแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่ง JSON นั้นอยู่ในรูปข้อความธรรมดาที่มนุษย์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถอ่านเข้าใจได้ง่าย โดยมาตรฐานฟอร์แมต JSON คือ RCF4627 (4) มี Internet media type เป็น application/json และมีนามสกุลของไฟล์เป็น .Json

โครงสร้างของ JSON เป็นรูปแบบข้อความชนิดหนึ่งที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบที่สามารถอ่านแล้วเข้าใจได้ง่าย เปรียบเสมือนรูปแบบของอาเรย์(Array) ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่าน Object เพราะปกติแล้วการรับส่งข้อมูลผ่าน Object ต่าง ๆ นั้น จะต้องรับ-ส่ง ในรูปแบบของข้อความทั้งก้อน และเมื่อทางด้านของ Object ทำการรับค่าที่ทำการส่งค่ากลับมาจากเซิร์ฟเวอร์จะต้องนำเอาข้อความนั้นมาตัดตำแหน่งที่ต้องการเพื่อนำเอาข้อความที่ต้องการมาใช้งาน แต่สำหรับ JSON สามารถรับส่งค่าตัวแปรได้ทั้งทางด้านไคลเอ็นต์ (Client) และทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server) โดยทั้ง 2 ด้าน สามารถทำการเข้ารหัสและสามารถถอดรหัสโดยใช้ JSON Encode และ JSON Decode เพื่ออ่านค่าตัวแปรนั้น ในการเรียกใช้งานปกติจะอยู่ในรูปแบบของอาเรย์และตัวแปรของ JSON นั้นไม่จำกัดแค่การรับส่งข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์เท่านั้น แต่สามารถนำ JSON ไปประยุกต์ใช้กับการรับส่งข้อมูลในรูปแบบอื่น ๆ ได้อีก เช่น การเก็บข้อมูลในรูปแบบตัวอักษรข้อความ การรับส่งข้อมูลผ่านเว็บไซต์ก็สามารถทำได้เช่นกัน

JSON ใช้ความสัมพันธ์ของภาษา Java Script แต่ไม่มองว่าเป็นภาษาโปรแกรม แต่มองว่าเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลมากกว่า ปัจจุบันมีไลบารี่ของภาษาโปรแกรมอื่น ที่ใช้การประมวลผลข้อมูลในรูปแบบของ JSON มากมาย

ในการเขียน JSON สามารถเขียนได้ในรูปแบบตามข้อกำหนดดังนี้

1. ข้อมูลจะแสดงในลักษณะของ key, value
2. Key และ value จะถูกแยกกันด้วยเครื่องหมาย “ : ”
3. ข้อมูลจะถูกแยกออกจากกันด้วยเครื่องหมาย “ , ”
4. Object จะต้องอยู่ภายใต้เครื่องหมาย “{}”
5. Arrays จะต้องอยู่ภายใต้เครื่องหมาย “( )”

โดยเขียนในรูปแบบตัวอย่างดังนี้

{ “key”:”value” }

หรือ { “key1” : “value1” , “key2” : “value2” }

หรือรูปแบบของ Arrays { “key1” : “value1” , “key2” : (“value2-1” , “value2-2”) }

ตัวอย่างข้อมูล เช่น

{ “key1” : “value1” , “key2” : “value2” , “key3” : “value3” }

{ “ชื่อ” : “รักชาติ” , “นามสกุล” : “ยิ่งชีพ” , “อายุ” : “30” }

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**การเปลี่ยนมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอนาล็อคเป็นดิจิตอลและใช้การส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย**

H.G.Rodney Tan, C.H.Lee, V.H.Mok (5) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบ GAPMR ในงานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของระบบ GAPMR โดยอธิบายถึงที่มาของปัญหา การแก้ไขปัญหา หลักการทำงานและเหตุผลของการทำงานของระบบไว้ดังนี้

ในช่วงที่ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาในงานนี้ได้มองถึงปัญหาของการอ่านค่าของวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้าว่าในการอ่านค่าผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเรียกเก็บเงินกระทำโดยมนุษย์จากบ้านต่อบ้าน อาคารต่ออาคาร นั้นต้องการแรงงานจำนวนมากและระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานในการอ่านข้อมูลและจัดทำบิลเรียกเก็บเงินถึงจะแล้วเสร็จ ผู้ประกอบการเรียกเก็บเงินมีแนวโน้มที่อ่านข้อมูลผิดพลาด ในบางเวลาบางพื้นที่ไม่อาจเข้าถึงวัตต์มิเตอร์ได้โดยง่าย บางเวลาพนักงานเรียกเก็บเงินอาจมีข้อจำกัดและทำงานได้ช้าลงเพราะสภาพอากาศที่ไม่ดี การพิมพ์ใบเรียกเก็บเงินมีแนวโน้มในการสูญเสียในการส่งใบเรียกเก็บเงิน การเพิ่มของที่อยู่อาศัยและอาคารพานิชย์ในชุมชนเมือง สำหรับตัวอย่างที่ที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น มาเลเซียผู้ประกอบการจึงต้องการคนมากขึ้นและมีชั่วโมงการ

ทำงานที่ยาวขึ้นถึงจะแล้วเสร็จในการอ่านค่าวัตต์มิเตอร์ เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการอ่านค่าวัตต์มิเตอร์ของผู้ประกอบการ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านค่าวัตต์มิเตอร์เพิ่มมากขึ้น ลดการการผิดพลาดในการเรียกเก็บเงินและลดต้นทุนในการทำงาน ระบบการอ่านค่าวัตต์มิเตอร์แบบอัตโนมัติจึงมีบทบาทที่สำคัญในการแก้ปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น Automatic Meter Reading (AMR) นั้นมีประสิทธิภาพในการรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นรูปธรรม การอ่านค่าวัตต์มิเตอร์มีความแม่นยำของข้อมูลมากขึ้น การอ่านอนุญาตให้อ่านได้บ่อยมากขึ้น การปรับปรุงการเรียกเก็บเงิน การบริการลูกค้า รูปแบบโปรไฟล์การจัดการพลังงาน ปรับปรุงตามการบริโภคและการปรับใช้ทรัพยากรให้ดีขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีชั้นสูง การเปลี่ยนวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้าแบบอนาล็อค เป็นวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้าแบบดิจิตอล สร้างระบบอ่านค่าวัตต์มิเตอร์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของการดึงข้อมูลจากมิเตอร์ การพัฒนาโครงสร้างระบบ Global System Mobile (GSM) และ Information Communication Technology (ICT) ในไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมามีการทำระบบการอ่านข้อมูลวัตต์มิเตอร์แบบไร้สายที่น่าเชื่อถือและเป็นไปได้มาก ระบบ GSM Automatic Power Meter Reading System (GAPMR) ในครั้งนี้ เป็นความได้เปรียบของระบบโครงสร้างของระบบ GSM ที่ครอบคลุมไปทั่วประเทศ และระบบส่งข้อความสั้น (SMS) คุณสมบัติของการแพร่กระจายสัญญาณเพื่อดึงข้อมูลส่วนบุคคลของการใช้พลังงานที่พักอาศัยแต่ละหลังจากวัตต์มิเตอร์ แบบไร้สาย เก็บข้อมูลและส่งแบบข้อความสั้น จากวัตต์มิเตอร์ที่ได้รับอนุญาตให้อ่านข้อมูลและส่งข้อมูลเก็บไปเก็บไว้กับผู้ให้บริการมือถือและสามารถเรียกดูได้ในภายหลัง ในงานวิจัยยังได้แสดงรูปแบบโครงสร้างการทำงานเอาไว้ด้วย

**การเปลี่ยนวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้าแบบอนาล็อคเป็นแบบดิจิตอลและใช้การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายย่านซิกบี**

Shang-Wen Luan, Jen-Hao Teng, Shun-Yu Cha, Lain-Chyr Hwang (6) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาการทำงานของระบบ Advanced Metering Infrastructure (AMI) ไว้ดังนี้

ผู้ทำการศึกษาได้ออกแบบการทำงานของระบบ Advanced Metering Infrastructure (AMI) ในโครงการ ไอทีโปรเจกต์ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายร่วมกันโดยใช้เครือข่ายการสื่อสารไร้สายในย่านความถี่ต่ำ ย่านซิกบี ซึ่งมีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเครือข่ายสื่อสาร โดยใช้คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ของไมโครชิป dsPIC30F series ในการพัฒนาวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยจะออกแบบให้ระบบสื่อสารย่านซิกบีรวมเข้ากับวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อใช้ส่งข้อมูลรวมของการใช้พลังงานสู่ระบบประมวลผลสุดท้าย เพาเวอร์วัตต์มิเตอร์ที่นำเสนอไม่เพียงแต่สามารถส่งของมูลการใช้พลังงานเพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถที่จะบันทึกข้อมูลไฟฟ้าดับได้อีกด้วย ระบบนี้มีศักยภาพที่จะใช้สร้างพื้นที่สำหรับสาธิตของระบบ Advance Metering Infrastructure (AMI) เพื่อดูผลความถูกต้องของข้อมูลระบบที่นำเสนอ นอกเหนือจากการใช้งานระบบการสื่อสารความถี่ต่ำในย่านซิกบีกับ การเก็บ

ข้อมูลการใช้พลังงานแล้ว คาดหวังว่าผลจะนำไปสู่การแพร่หลายของโปรเจกต์ไอทีต่อไป ในงานวิจัยยังได้แสดงรูปแบบการทำงานของระบบเอาไว้ด้วย

**การเชื่อมต่อระบบ ARM(Automatic Reading Meter) กับระบบสื่อสารแบบไร้สาย มีงานวิจัยดังต่อไปนี้**

Li Li , Xiaoguang Hu Fellow (7) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของ ARM (Automatic Meter Reading) และ PQ (Power quality) โดยได้อธิบายการทำงานของงานวิจัยดังกล่าวไว้ดังนี้

ในงานศึกษาฉบับนี้ได้ทำการพัฒนาระบบการสื่อสารและเชื่อมต่ออุปกรณ์ ARM ด้วยการสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ Wi-Fi และ WiMAX ในการสื่อสารและส่งข้อมูล ซึ่งจะทำให้สามารถลดการลงทุนไปได้มาก และยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ARM ได้จำนวนมาก ซึ่งเทคโนโลยี Wi-Fi ที่นำมาใช้งานในการเชื่อมต่อระยะห่างของอุปกรณ์กับจุดกระจายสัญญาณ ห่างได้ถึง 300 เมตร ในที่โล่ง และ 100 เมตรในพื้นที่ตัวอาคาร ซึ่ง Wi-Fi ทำงานอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.11x โดยทั่วไป ส่วนมากระบบ ARM ที่นำมาใช้งานจะทำงานโดยเลือกใช้การสื่อสารด้วย RF (Radio Frequency), PLC (Power line cattier communication), GPRS (General Packet Radio Service), HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) ในการเชื่อมต่อเพาเวอร์วัตต์มิเตอร์กับศูนย์กลางระบบ ซึ่งมีการลงทุนสูง ยากต่อการบริหารจัดการ ระบบไม่มีความเสถียรเมื่อเกิดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม Wireless และ GPRS ใช้ในวงกว้างในการใช้อ่านค่าวัตต์มิเตอร์ แต่ในปัจจุบันต้นทุนของ GPRS module และระบบการสื่อสารยังมีต้นทุนสูง จนกว่าต้นทุนจะลดลง จึงไม่สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย การสื่อสารด้วยสายค่าใช้จ่ายสูงมาก ในก่อนหน้านี้มันยากมากที่จะนำมาใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงมากในการเชื่อมต่อเครือข่าย และยังมีเรื่องความปลอดภัย

ในงานศึกษานี้เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้นำเอา Wi-Fi เข้ามาเพื่อใช้เป็นระบบสื่อสาร ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลกในการส่งข้อมูลพลังงาน ซึ่งในการสื่อสารด้วยความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11x และในการดำเนินการยังมีต้นทุนที่ต่ำอีกด้วย

**การเชื่อมต่ออุปกรณ์ IOT กับระบบเซ็นเซอร์ มีงานวิจัยดังต่อไปนี้**

R. Morello, C. De Capua, G. Fulco, S.C. Mukhopadhyay, Fellow (8) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงาน A Smart Power Meter to Monitor Energy flow in smart grids ในงานศึกษานี้ได้อธิบายถึงการพัฒนาของระบบเซ็นเซอร์และระบบ IOT ในระบบ ในงานศึกษาฉบับนี้ผู้ศึกษาได้เสนอแนวความคิดของ Smart power grid ในอนาคต Power meter จะสามารถที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานรวมและคุณภาพของพลังงานในหลายๆ ของโครงข่ายระบบไฟฟ้า การรองรับการขยายของข้อมูลโดยเกณฑ์การตัดสินใจ จะช่วยให้การจัดการเหตุการณ์ความผิดพลาดของ

ระบบไฟฟ้าหรือการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในความต้องการของพลังงาน ระบบไฟฟ้าสามารถเปรียบเทียบโดยการใช้อินเตอร์เน็ต ดังนั้น Internet of things (IOT) สามารถให้โอกาสใหม่ในการพัฒนาระหว่างงานของวัตต์มิเตอร์อัจฉริยะ IOT สามารถให้เกณฑ์ใหม่สำหรับการแบ่งปันข้อมูลทั้งหมดของระบบในการเชื่อมต่อการสื่อสาร แต่ละเซ็นเซอร์หลาย ๆ จุดอย่างต่อเนื่อง IOT สามารถแบ่งปันข้อมูลของเซ็นเซอร์โดยใช้อินเตอร์เน็ตและบริการของเว็บไซต์ ดังนั้นการบริหารจัดการของโครงข่ายระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้นในส่วนที่เพิ่มเข้าไป ระบบเซ็นเซอร์ต้องครอบคลุมและตอบสนองคุณสมบัติหลาย ๆ อย่างต้องมีความยืดหยุ่นในการตัดสินใจเปลี่ยนแปลง สามารถมองเห็นและคาดการณ์ล่วงหน้าของผลรวมของการใช้พลังงานและควบคุมระบบไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นมาตรฐาน ISO/IEC/IEEE 21451 สามารถทำให้ปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นโดยการทำที่ง่ายในการทำงานร่วมกันของระบบเซ็นเซอร์หลายๆ ระบบตามมาตรฐานของโปรโตคอล ในสถานการณ์ดังกล่าวการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะเป็นไปได้โดยหมายถึง การกระจายของเพาเวอร์วัตต์มิเตอร์ในทางกายภาพจะครอบคลุมถึงการมองเห็นระบบโครงข่ายระบบไฟฟ้าโดยการดำเนินการประมวลผลการกระจายข้อมูล

ในงานศึกษานี้ได้พัฒนาและการทดสอบทดลองของวัตต์มิเตอร์อัจฉริยะให้สามารถมองเห็นค่าของพลังงานแบบ Real time โดยได้ทำการพัฒนาตัววัตต์มิเตอร์ให้สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าได้และยังมีระบบประมวลผลในตัวอุปกรณ์ โดยการใช้โปรโตคอล XMPP, TCP/IP, HTTP, และ Web service ในการสื่อสาร ในงานวิจัยยังได้แสดงรูปแบบการทำงานของระบบเอาไว้ด้วย

Damir JAKUS, Josip VASILJ, Petar SARAJČEV (9) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง ADVANCED ENERGY METER WITH LOAD CONTROL BASED ON ESP8266 MODULE AND MQTT PROTOCOL ไว้ดังนี้

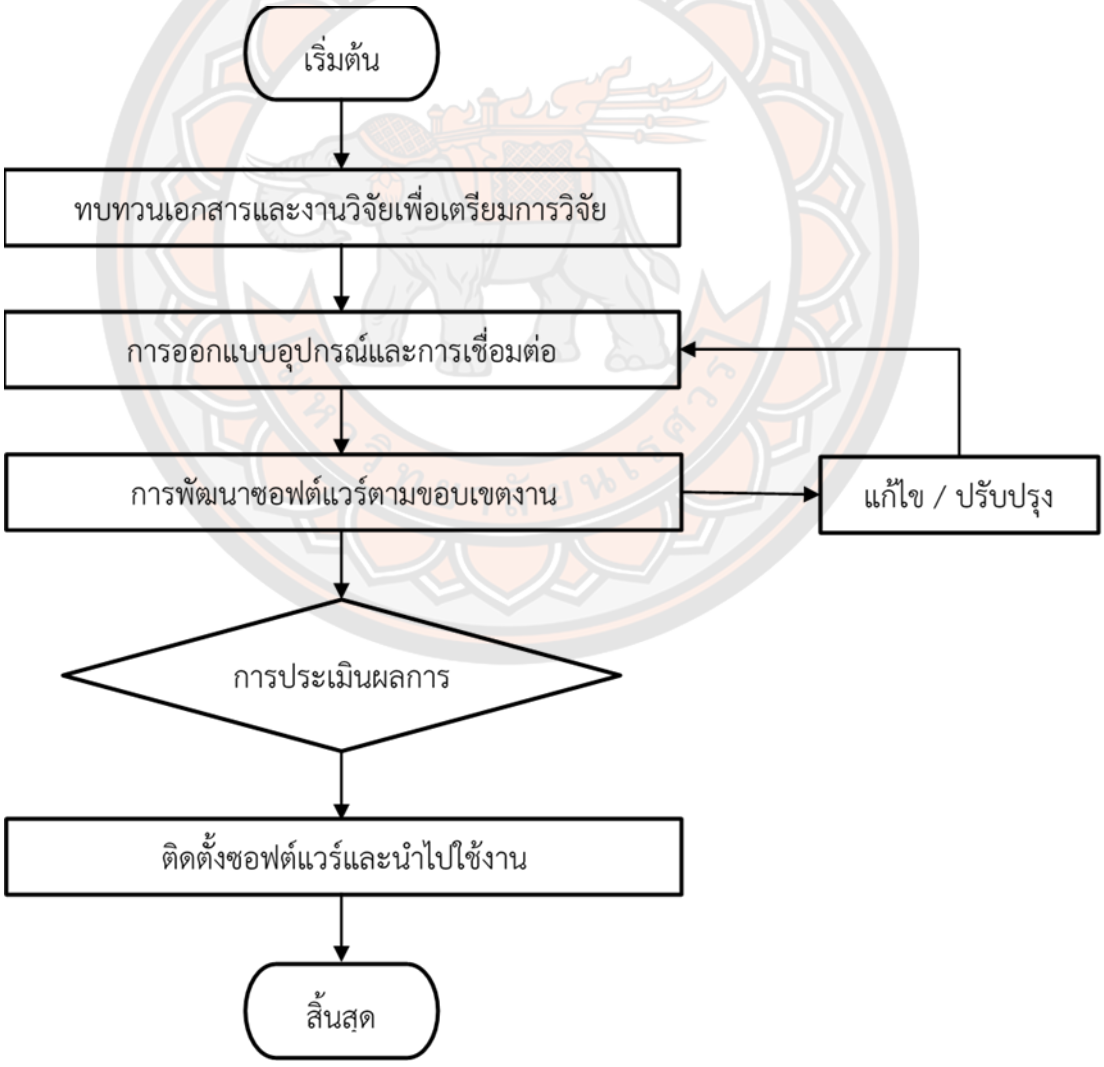
ในระดับสหภาพยุโรปและโครเอเชียวัตต์มิเตอร์รุ่นเก่าจะถูกแทนที่ด้วยสมาร์ทวัตต์มิเตอร์รุ่นใหม่ที่ช่วยให้การสื่อสารแบบสองทางระหว่าง ผู้ประกอบการ / ผู้ผลิต และผู้ใช้ปลายทาง การติดตั้งสมาร์ทวัตต์มิเตอร์เป็นขั้นตอนแรกที่จำเป็นสำหรับการบรรลุถึงเป้าหมาย และการนำแนวคิดโครงข่ายสายส่งอัจฉริยะและกระบวนการนี้เป็นหนึ่งในโครงการที่มีความสำคัญในระดับสหภาพยุโรป สมาร์ทวัตต์มิเตอร์ทำให้การตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยวัดค่าอย่างต่อเนื่อง ทั้งกับผู้ประกอบการ / ผู้ผลิต และผู้ใช้ปลายทาง และอย่างโปร่งใส โดยผู้ใช้งานจะได้รับข้อมูลเชิงลึกมากขึ้นเกี่ยวกับการใช้พลังงานของพวกเขา นอกจากนี้จะทำให้ผู้ประกอบการมีข้อมูลเพื่อวางแผนพัฒนา และบำรุงรักษาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้มีการอธิบายต้นแบบของเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นด้วยโมดูล ESP8266 โดยใช้การสื่อสารสองทางผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบสองทิศทาง ทำให้สามารถควบคุมการทำงานต่างๆ ของโหลดต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

ในงานศึกษานี้เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาเรื่องของการควบคุมระบบ และการนำเอาข้อมูลต่าง ๆ ที่วัดได้มาบริหารจัดการวางแผนพัฒนาระบบ การวางแผนบำรุงรักษาสายส่งอัจฉริยะ ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงได้นำเอาโมดูลการสื่อสาร ESP8266 มาเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบสองทิศทาง ในการบริหารจัดการระบบ

# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและพัฒนาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ตมิเตอร์ โดยแนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้กับ NodeMCU ESP8266-12E เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดเล็ก เพื่อเชื่อมต่อกับตัวเซ็นเซอร์ (PZEM-004T V.3) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ด้าน IoT ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนใน Flowchart ดังภาพ 1 ดังนี้




**ภาพ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย**

**ทบทวนเอกสารและงานวิจัยเพื่อการวิจัย**

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษา และทบทวนเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา โดยจากการศึกษางานที่ผ่านมาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดมุ่งเน้นนำอุปกรณ์ด้าน IoT ที่มีความสามารถในการทำงานในด้านการรับ-ส่ง ข้อมูลด้วยระบบการสื่อสารแบบไร้สายเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ และใช้อุปกรณ์สำหรับวัดค่าพลังงานที่มีความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลพื้นฐานแบบดิจิตอลมาเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ในการวัดค่าพลังงาน เพื่อส่งค่าที่วัดได้ให้กับอุปกรณ์หลักในการส่งค่า เพื่อบันทึกในระบบฐานข้อมูลต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมุ่งเน้นอุปกรณ์ที่หาซื้อง่าย มีราคาถูก เป็นที่นิยมของนักพัฒนาซอฟต์แวร์ เป็นหลักในการออกแบบดังกล่าว

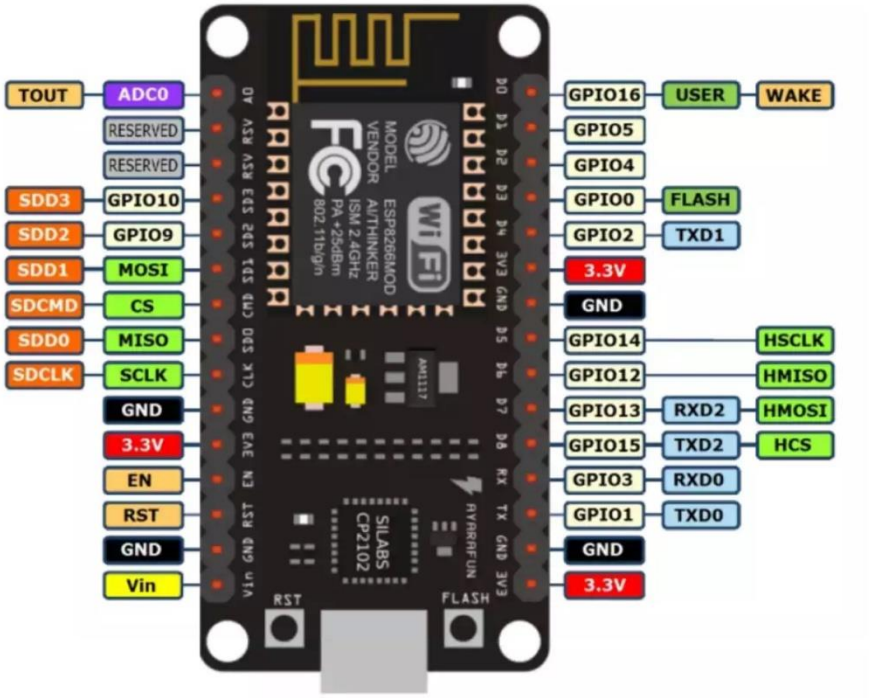
**อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย**

ในการดำเนินการวิจัยพัฒนาครั้งนี้ ผู้วิจัยทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา และได้ตั้งสมมติฐานงานพัฒนาซอฟต์แวร์ในด้านของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานนี้คือ

1. อุปกรณ์ต้องเป็นอุปกรณ์ด้าน IoT
2. อุปกรณ์ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องสามารถที่จะเขียนโปรแกรมต่าง ๆ ใส่ลงไปในตัวอุปกรณ์ได้อย่างอิสระ
3. อุปกรณ์ต้องสามารถบันทึกข้อมูลที่จำเป็น ที่ใช้กับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้
4. อุปกรณ์ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องมีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้
5. อุปกรณ์ที่เป็นชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ต้องสามารถส่งข้อมูลแบบดิจิตอลได้
6. อุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่นำมาใช้งานต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัตต์มิเตอร์รุ่นเก่าได้
7. อุปกรณ์วัดค่าพลังงานต้องรองรับการทำงานในระบบไฟฟ้า Single phase (220 Vac)
8. ระบบจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลการทดสอบซอฟต์แวร์ ต้องง่ายต่อการบริหารจัดการและสามารถนำไปต่อยอดได้
9. อุปกรณ์ใช้พลังงานในระบบไฟฟ้ากระแสตรง และใช้พลังงานต่ำ
10. อุปกรณ์ต้องหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก

จากที่กล่าวมาข้างต้นไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์วัดค่าพลังงาน ที่ผู้วิจัยเลือกและนำมาใช้งาน คือ

**1. NodeMCU ESP8266-12E**




**ภาพ 2 NodeMCU ESP8266-12E**

**คุณสมบัติของอุปกรณ์ NodeMCU ESP8266-12E**

1. อุปกรณ์เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก
2. รองรับการสื่อสารแบบไร้สาย
3. มี EEPROM ในตัวอุปกรณ์ (ระบบบันทึกข้อมูลภายใน)
4. รองรับการเป็นเซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็กได้
5. สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลแบบดิจิตอล ผ่านพอร์ตสื่อสาร (Tx, Rx)
6. มี Library สามารถนำมาต่อยอดได้
7. ใช้พลังงานต่ำ (3.3 Vdc)
8. เป็นที่นิยมสำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์
9. เป็นอุปกรณ์ด้าน IoT หาซื้อง่าย ราคาถูก

**2. AC Digital Power Energy Meter Module (PZEM-004T v.3)**

**ภาพ 3 AC Digital Power Energy Meter Module (PZEM-004T v.3)**

**คุณสมบัติของอุปกรณ์ AC Digital Power Energy Meter Module (PZEM-004T v.3)**

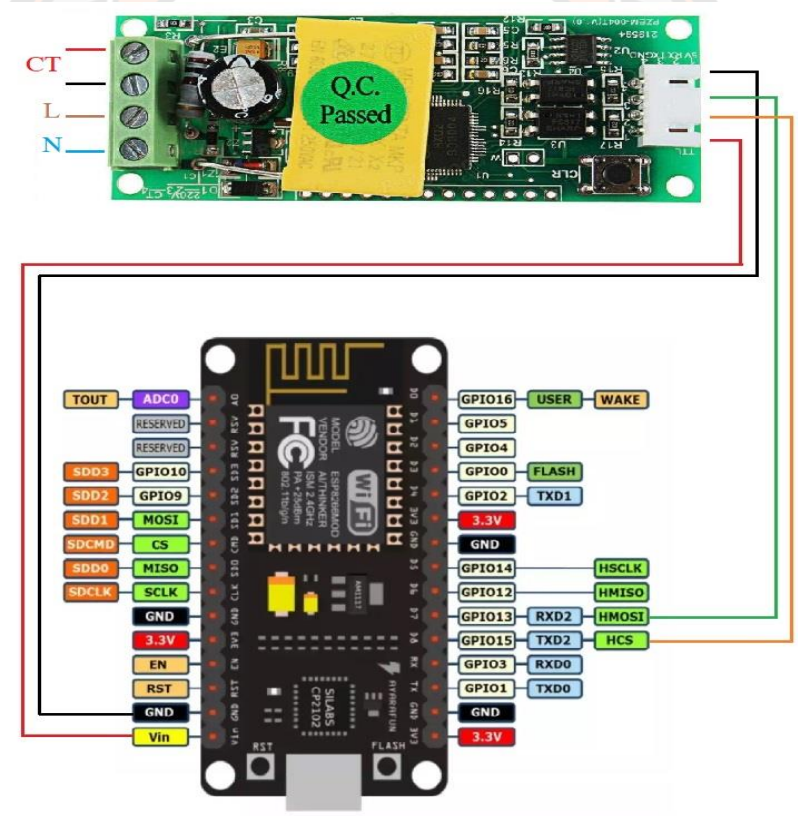
1. เป็น Digital Watt Meter ขนาดเล็ก รองรับระบบไฟฟ้า Single phase (220Vac)
2. ความสามารถวัดค่า Voltage, Current, Power, Energy, Frequency, Power Factor
3. สามารถวัดค่า Current ได้สูงสุด 100A (ตาม Datasheet ของผู้ผลิต)
4. มี EEPROM ในตัวอุปกรณ์ สำหรับบันทึกข้อมูล Energy สะสม (ระบบบันทึกข้อมูลภายใน)
5. มี Library สามารถนำมาต่อยอดได้
6. สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลแบบดิจิตอล ผ่านพอร์ตสื่อสาร (Tx, Rx)
7. ใช้พลังงานต่ำ (5 Vdc)
8. เป็นที่นิยมสำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์
9. เป็นอุปกรณ์ด้าน IoT หาซื้อง่าย ราคาถูก

**ออกแบบอุปกรณ์และการเชื่อมต่อ**

งานวิจัยผู้พัฒนาได้ดำเนินการออกแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งใน NodeMCU ESP-8266-12E สำหรับการส่งค่าพลังงานที่วัดค่าได้ แต่ละช่วงเวลาผ่านอินเตอร์เน็ต และส่วนของอุปกรณ์วัดค่าพลังงาน(PZEM-004T v.3) ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ผู้พัฒนาจะดำเนินการ

พัฒนาการส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ ผ่านช่องทางการสื่อสารไร้สายของ NodeMCU ESP8266-12E ผ่านอินเตอร์เน็ต ไปยังระบบฐานข้อมูล Cloud ของ Google (10) เริ่มจากการวางโครงร่างของงานที่จะต้องดำเนินการ และเชื่อมต่อพอร์ตการสื่อสารของ NodeMCU ESP8266-12E กับอุปกรณ์วัดค่าพลังงาน (PZEM-004T v.3) ตามพอร์ตที่กำหนดให้เป็นพอร์ตสื่อสาร(Tx, Rx) แล้วพิจารณาส่วนประกอบของซอฟต์แวร์แยกเป็นฟังก์ชั่น โดยเริ่มจาก

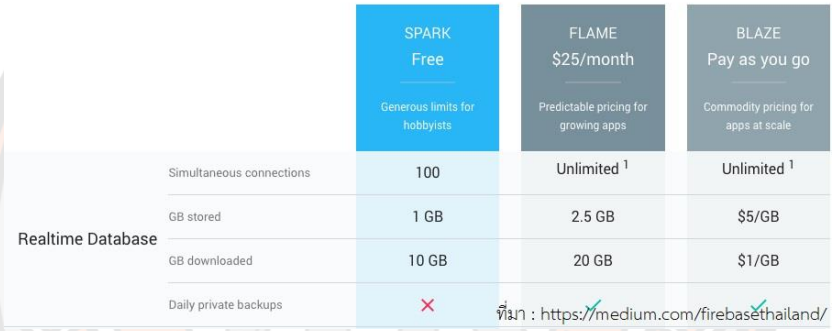
1. การสร้างฐานข้อมูล
2. การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์วัดค่าพลังงาน
3. การเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต
4. การส่งข้อมูล
5. การดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์




**ภาพ 4 การเชื่อมต่อ NodeMcu ESP8266-12E กับ PZEM-004T v.3**

**การจัดเก็บข้อมูล**

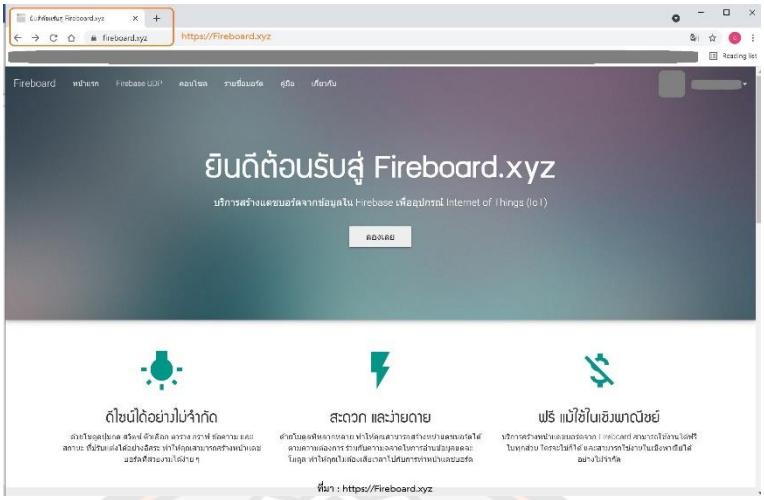
ในการจัดเก็บข้อมูล ผู้พัฒนาได้เลือกการเก็บข้อมูลครั้งนี้ จากผู้ให้บริการที่น่าเชื่อถือ โดยในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในครั้งนี้ เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบ ซึ่งงานวิจัยเป็น การวิจัยเชิงวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาระบบการส่งข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและพัฒนาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์ โดยในการจัดเก็บข้อมูลจึงได้มองหาผู้ให้บริการเซิร์ฟเวอร์ ที่ให้บริการฐานข้อมูลในลักษณะสนับสนุนด้านการศึกษาพัฒนา โดยการพัฒนาครั้งนี้ ผู้พัฒนาเลือกใช้ระบบฐานข้อมูลของ Google.com (10) ซึ่งบริการระบบฐานข้อมูลโดยไม่คิดมูลค่า แต่ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขตามที่ Google.com กำหนดไว้เรื่องปริมาณของข้อมูลต้องไม่เกินข้อกำหนดของผู้ให้บริการประมาณ 1GB




**ภาพ 5 แสดงค่าบริการ Firebase Realtime Database**

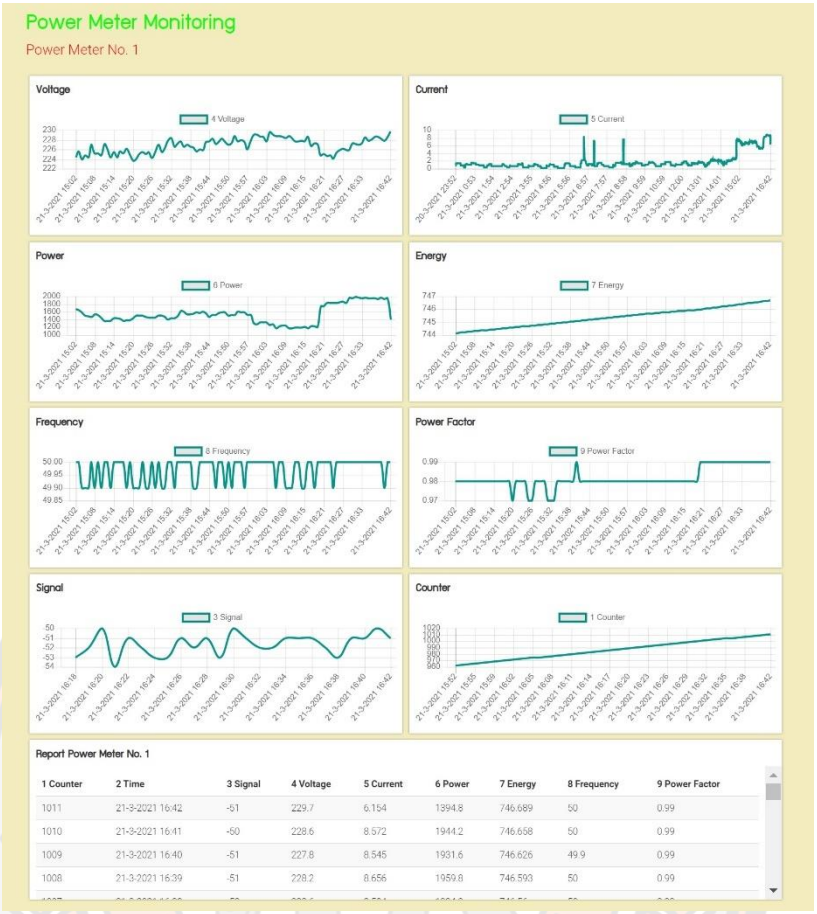
**การแสดงผลข้อมูล**

ในการแสดงผลข้อมูล ผู้พัฒนาได้เลือกการบริการแสดงผลของ ผู้จำหน่ายอุปกรณ์ด้าน IoT ซึ่งได้ทำการสร้างไว้สำหรับบริการนักพัฒนาซอฟต์แวร์ให้กับอุปกรณ์ IoT เพื่อเป็นการทดสอบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ในระบบแสดงผลต้องเข้าไปลงทะเบียนในเว็บไซต์ Https://Fireboard.zyz (11)




**ภาพ 6 เว็บไซต์ Fireboard.xyz สำหรับการแสดงผลข้อมูล**

ในการแสดงผลข้อมูล ที่หน้าเว็บไซต์แสดงผล (Fireboard.xyz) เชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล (Firebase.com) หน้าแสดงผลสามารถแสดงผลได้ในหลายลักษณะ โดยที่ Fireboard จะเรียกเป็นโมดูล เช่น โมดูลกดปุ่ม, โมดูลสวิตซ์, โมดูลตัวเลือก, โมดูลตาราง, โมดูลกราฟ, โมดูลข้อความ, โมดูลสถานะ ซึ่งในการพัฒนาซอฟต์แวร์ครั้งนี้ ผู้พัฒนาเลือกการแสดงผลในแบบของ โมดูลกราฟและตาราง เนื่องจากเป็นการสื่อสารข้อมูลด้วยการมองซึ่งจะง่ายต่อการทำความเข้าใจ

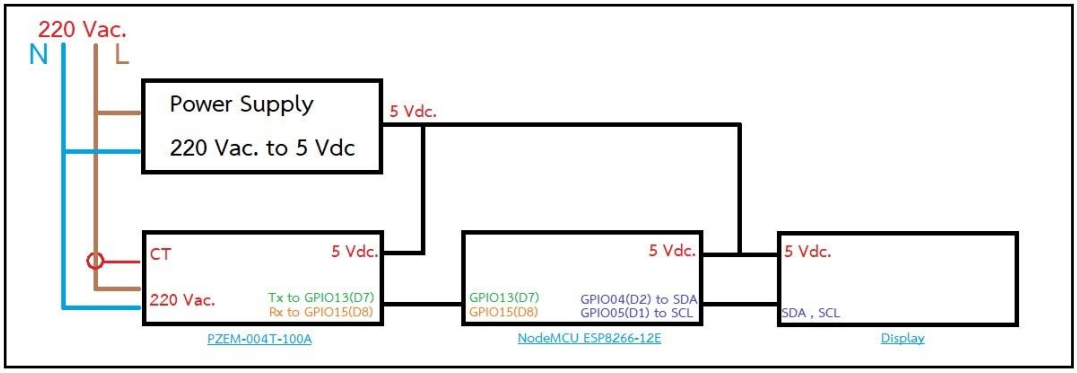



**ภาพ 7 การแสดงผลข้อมูลหน้าเว็บ Fireboard.xyz**

**การออกแบบและสร้างชิ้นงาน**

การประกอบชิ้นงานต้นแบบ ผู้พัฒนาได้จัดหาอุปกรณ์ตามที่ได้เลือกไว้ใช้ในงานตามคุณสมบัติของอุปกรณ์ โดยได้สั่งซื้ออุปกรณ์ผ่านทางตัวแทนจำหน่ายในร้านค้าออนไลน์ ซึ่งในปัจจุบันนี้มีให้เลือกมาก และมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูงสำหรับอุปกรณ์ด้าน IoT

**การประกอบชิ้นงาน** เริ่มจากการวางรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยเขียน Block diagram เพื่อเป็นแนวทางในการประกอบชิ้นงานดังรูป

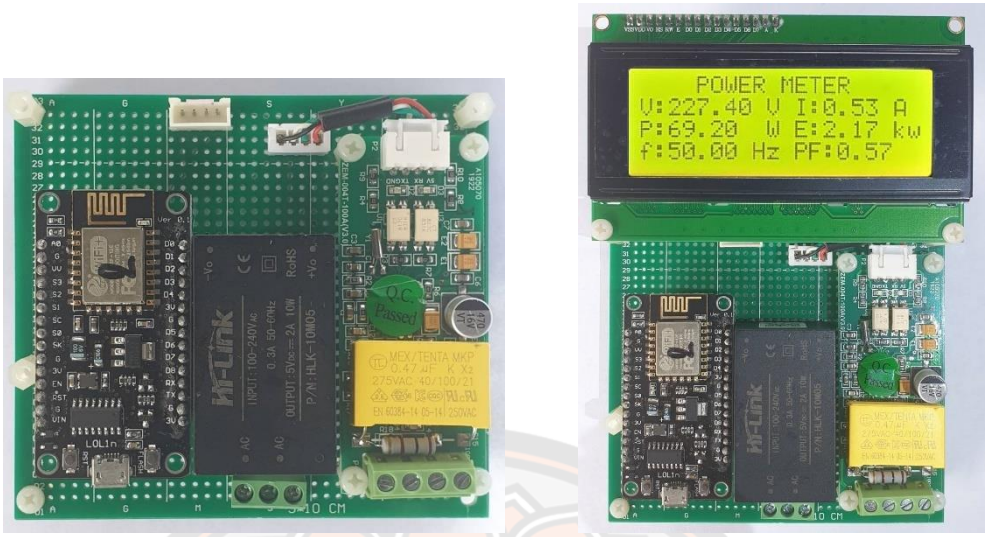



Function block diagram

**ภาพ 8 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์**

ในการประกอบชิ้นงาน เนื่องจากการพัฒนาซอฟต์แวร์เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ในการประกอบชิ้นงานจึงใช้แผ่นปริ้นเอนกประสงค์มาใช้งานเพื่อง่ายและมีความสะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไขหากเกิดข้อผิดพลาดในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งได้ประกอบชิ้นงานไว้ 2 รูปแบบ เพื่อหาข้อบกพร่องในการต่อระบบในการทดสอบการใช้งาน แสดงดังภาพ 9 และภาพ 10

**ภาพ 9 ชิ้นงานต้นแบบ Smart meter-1**




**ภาพ 10 ชิ้นงานต้นแบบ Smart meter-2**

**การทดสอบการวัดค่าพลังงานและการบันทึกข้อมูล**

การวัดค่าพลังงานจากระบบตรวจวัดต้นแบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และการบันทึกข้อมูลงานครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบการวัดค่าความถูกต้องของข้อมูลใน 2 รูปแบบคือ

1. การวัดค่าพลังงานจากระบบตรวจวัดต้นแบบ และเปรียบเทียบกับการบันทึกข้อมูลในระบบเซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบ Network

2. การวัดค่าพลังงานจากระบบตรวจวัดต้นแบบ และเปรียบเทียบกับการวัดด้วยอุปกรณ์วัดค่ากระแสไฟฟ้า Fluke Clamp Meter

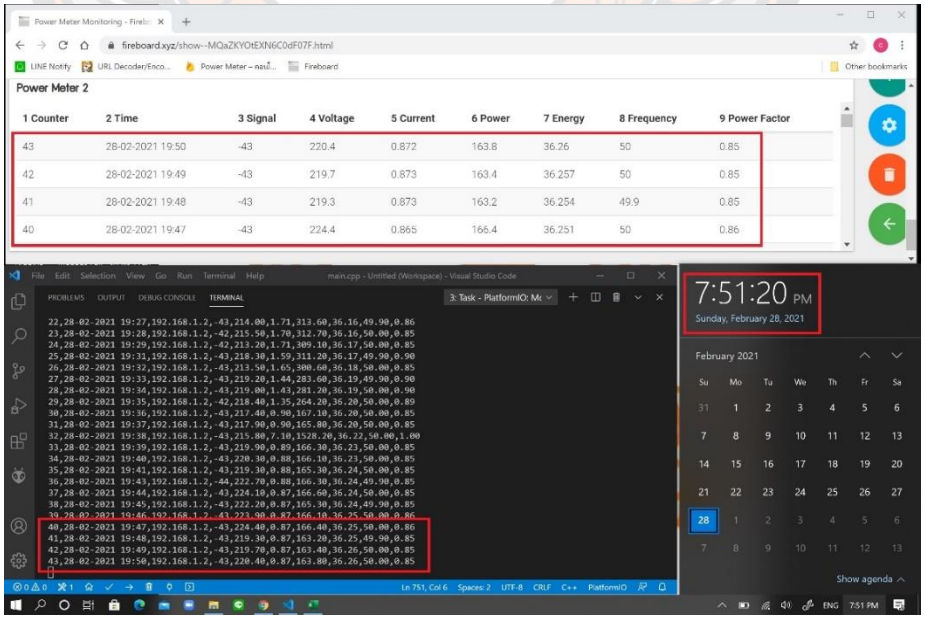
ในการทดสอบทั้ง 2 รูปแบบมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบว่าสามารถวัดค่าพลังงานแบบไร้สายได้อย่างถูกต้องแม่นยำหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ ในการจะนำไปใช้งานร่วมกับมิเตอร์ระบบอนาล็อก เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์หรือระบบผลิตไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ

# บทที่ 4

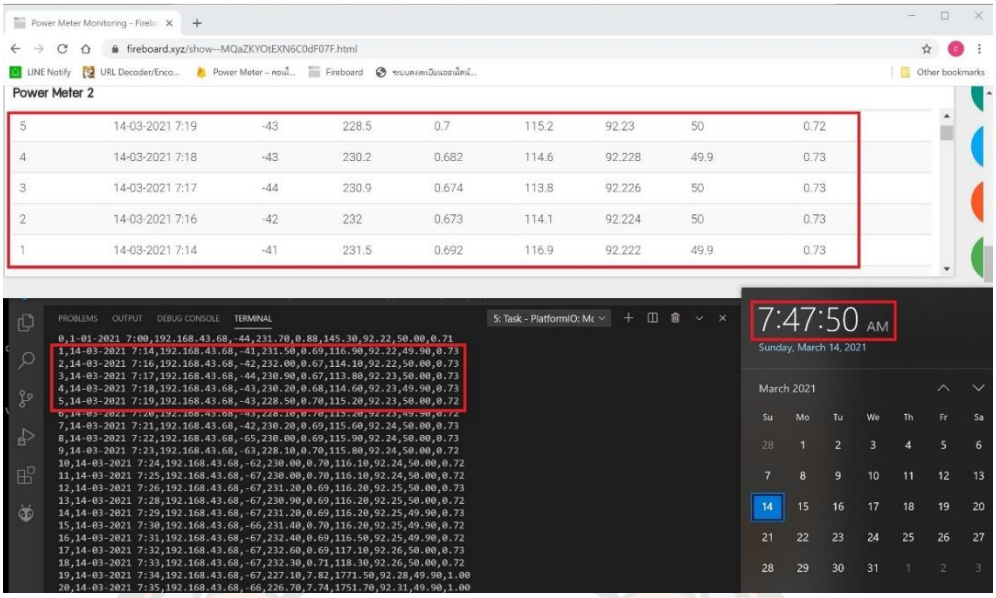
# ผลการวิจัย

## การบันทึกข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย

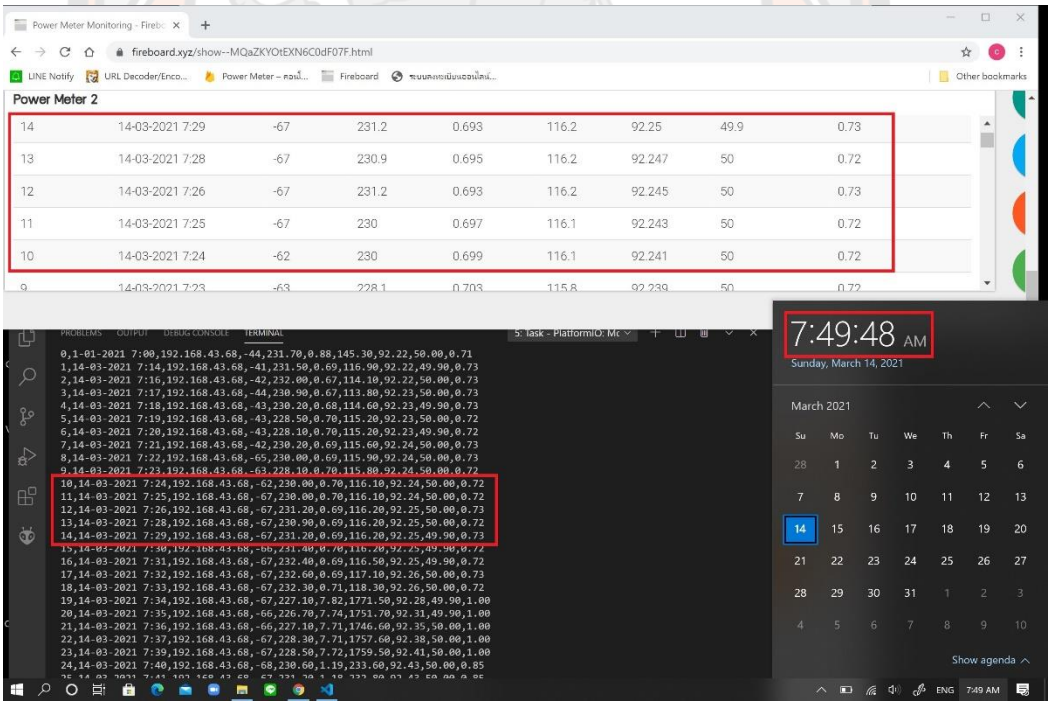
ผลกาวิจัยงานพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับ NodeMCU ESP8266-12E เพื่อการส่งข้อมูล โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ดิจิตอล AC Digital Power Energy Meter Module เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบความสามารถของ NodeMCU ESP8266-12E ในการรับส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สายของอุปกรณ์ โดยใช้ค่าของความแรงสัญญาณ Wi-Fi(Signal Strength) ในการทดสอบการส่งข้อมูลเพื่อหาความผิดพลาด โดยเปรียบเทียบด้วยความแรงของสัญญาณ(Signal Strength) ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่บันทึกไว้ใน Database โดยเปรียบเทียบข้อมูลต้นทางกับข้อมูลปลายทาง ซึ่งข้อมูลต้นทางได้มาจากการใช้ความสามารถของ Software Editor ที่ใช้ในการเขียนโค้ดให้กับ NodeMCU ESP8266-12E ทำการเชื่อมต่อด้วย Serial Monitor ในการอ่านค่าตรงจาก NodeMCU ESP8266-12E และข้อมูลปลายทางได้มาจากการแสดงผลของเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้เว็บไซต์ http://Fireboard.xyz อ่านข้อมูลจาก Database ของ Firebase มาแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อหาข้อผิดพลาด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพ




**ภาพ 11 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -43dbm.**




**ภาพ 12 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -41dbm. ถึง -43dbm.**




**ภาพ 13 เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับระบบฐานข้อมูลที่ Signal Strength -62dbm. ถึง -67dbm.**

จากภาพ 11 ถึง ภาพ 13 แสดงผลเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากความแรงของสัญญาณ(Signal Strength) ในช่วงระหว่าง -41dbm. ถึง -67dbm. ซึ่งมีความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่แตกต่างกัน ซึ่งสัญญาณ Wi-Fi ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266-12E นั้น ได้ใช้สัญญาณจากการแชร์สัญญาณ Wi-Fi(Hotspot Wi-Fi) ของโทรศัพท์มือถือ เพื่อเป็นการง่ายต่อการทำให้เกิดการสูญเสียความแรงของสัญญาณตามความต้องการในการทดสอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากผลการทดสอบ ระดับความแรงของสัญญาณ(Signal Strength) ถึงจะต่ำ ความสามารถในการบันทึกข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายของอุปกรณ์ NodeMCU ESP8266-12E ก็ยังสามารถทำงานได้โดยยังไม่พบข้อผิดพลาด

**การทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า**

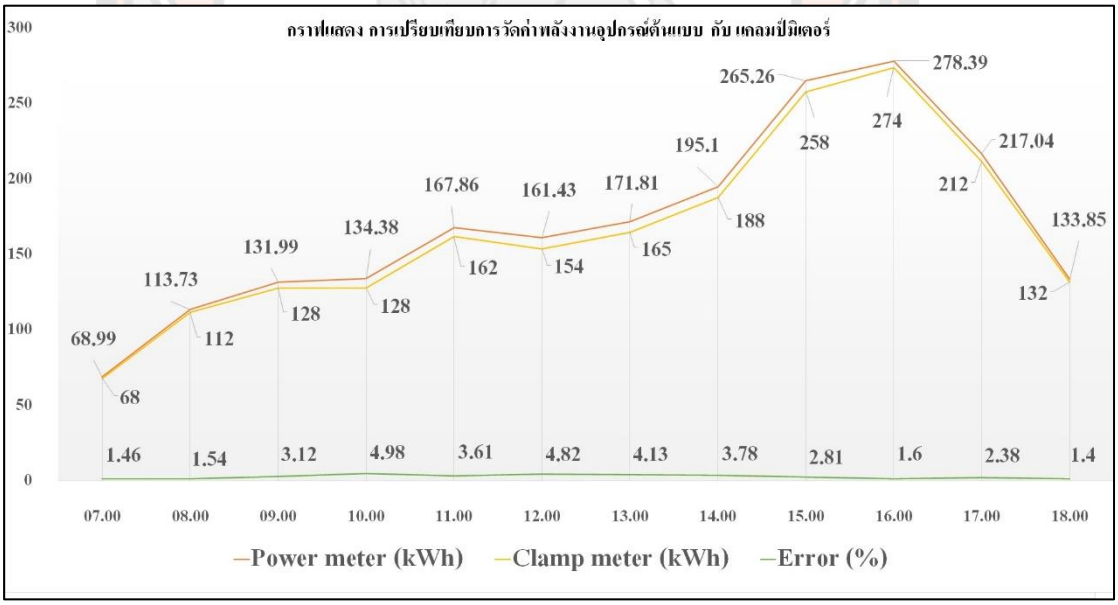
**การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าพลังงานจากระบบตรวจวัดต้นแบบกับอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า Clamp Meter**

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบ ว่าสามารถวัดค่าแบบไร้สายได้อย่างถูกต้อง มีความแม่นยำหรือไม่ ในการที่จะนำไปใช้งานร่วมกับวัตต์มิเตอร์อนาล็อกเพื่อวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และการผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานสะอาด เช่น จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การวัดค่าในการทดลองนี้ ผู้พัฒนาระบบได้ทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า Clamp Meter ในครั้งนี้ใช้เครื่องวัดค่าพลังงานยี่ห้อ Fluke เนื่องจากอุปกรณ์เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้งานว่ามีความแม่นยำสูงในการวัดค่าพลังงาน ในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยในการทดลองนี้จะทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน โดยจะทำการทดสอยการวัดในช่างเวลา 7:00 น. ถึง 18:00 น. เนื่องจากสถานที่เก็บข้อมูลเป็นอาคารประเภทสำนักงาน ที่มีรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวัน และไม่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางคืน

**ขั้นตอนการทดสอบ** ในส่วนของการวัดค่าพลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์อนาล็อกประกอบด้วย การนำเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า Fluke Clamp Meter เชื่อมต่อกับระบบวัตต์มิเตอร์อนาล็อก และจดบันทึกข้อมูลทุก 15 นาที สำหรับส่วนการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบต้นแบบประกอบด้วย การนำอุปกรณ์ต้นแบบเชื่อมต่อกับระบบวัตต์มิเตอร์ โดยตั้งค่าระบบการวัดค่าพลังงานและบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ในการวิเคราะห์ผล จะทำการคำนวณเป็นค่าการใช้พลังงานที่ใช้ในแต่ละชั่วโมง โดยจะนำค่าที่ทำการวัดได้จากระบบต้นแบบมาคำนวณ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของพลังงานรวมที่ใช้ในแต่ละช่วง 15 นาที จากนั้นจึงนำมาทำการเปรียบเทียบค่าการวัดค่าพลังงานเฉลี่ยรวมในแต่ชั่วโมง ข้อมูลที่ที่จดบันทึกได้จาก เครื่องวักค่ากระแสไฟฟ้า(Fluke Clamp Meter) ทุก 15 นาที โดยผลการเปรียบเทียบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต้นแบบกับวัตต์มิเตอร์อนาล็อก แสดงผลดังตาราง 1

**ตาราง 1 ผลการเปรียบเทียบการวัดค่าพลังงานของอุปกรณ์ต้นแบบกับวัตต์มิเตอร์อนาล็อก**

| ชั่วโมง | | อุปกรณ์ต้นแบบ(ตรวจวัด) | แคลมป์มิเตอร์(คำนวณ) | ค่าความคลาดเคลื่อน(%) |
|---|---|---|---|---|
| | | หน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย(kWh) | หน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย(kWh) | |
| 1 | 07:00 | 68.99 | 68.00 | 1.46 |
| 2 | 08:00 | 113.73 | 112.00 | 1.54 |
| 3 | 09:00 | 131.99 | 128.00 | 3.12 |
| 4 | 10:00 | 134.38 | 128.00 | 4.98 |
| 5 | 11:00 | 167.86 | 162.00 | 3.61 |
| 6 | 12:00 | 161.43 | 154.00 | 4.82 |
| 7 | 13:00 | 171.81 | 165.00 | 4.13 |
| 8 | 14:00 | 195.10 | 188.00 | 3.78 |
| 9 | 15:00 | 265.26 | 258.00 | 2.81 |
| 10 | 16:00 | 278.39 | 274.00 | 1.60 |
| 11 | 17:00 | 217.04 | 212.00 | 2.38 |
| 12 | 18:00 | 133.85 | 132.00 | 1.40 |
| พลังงานเฉลี่ยรายชั่วโมง(kWh) | | 169.98 | 165.00 | 2.97 |




**ภาพ 14 กราฟแสดง การเปรียบเทียบการวัดค่าพลังงานอุปกรณ์ต้นแบบ กับ แคลมป์มิเตอร์**

จากตาราง 1 และภาพ 14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอุปกรณ์ต้นแบบมาใช้งานร่วมกับวัตต์มิเตอร์อนาล็อก สามารถวัดค่าพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอุปกรณ์ตรวจวัดจากระบบต้นแบบมีผลการตอบสนองและการวัดค่าได้ถูกต้อง ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจากเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการวัดจากระบบต้นแบบเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke คิดเป็น 2.97 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.40 เปอร์เซ็นต์ และมีความคาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 4.98 เปอร์เซ็นต์

# บทที่ 5

# บทสรุป

## สรุปผลด้านการทำงานของอุปกรณ์

จากการพัฒนาระบบต้นแบบซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์ เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตามแนวคิดของอุปกรณ์ด้าน IoT ที่มีต้นทุนต่ำเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า จากระบบเซ็นเซอร์การวัดแบบอัตโนมัติโดยให้สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตและทำงานร่วมกับระบบวัตต์มิเตอร์อนาล็อกได้ โดยการพัฒนาจะใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก (NodeMCU ESP8266-12E) ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า (PZEM-004T) เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานแบบอนาล็อก ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายไร้สาย งานพัฒนาระบบต้นแบบมีการทดสอบการทำงาน 2 รูปแบบ คือ การทดสอบระบบการทำงานแบบภาพรวมด้านการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายของระบบต้นแบบ และส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบ ผลที่ได้พบว่าระบบสามารถตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย และจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลได้ และสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดสอบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยคิดเป็น 2.97 เปอร์เซ็นต์

## สรุปผลด้านฟังก์ชันการทำงาน

การทำงานของฟังก์ชันต่าง ๆ ของอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาในงานในครั้งนี้ ยังมีความสามารถในการทำงาน ยังไม่ครอบคลุมทุกฟังก์ชันการทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Smart Meter ที่มีต้นทุนการพัฒนาที่สูงกว่า แต่สามารถรองรับการทำงานในฟังก์ชันพื้นฐานของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่ามาก แต่ยังเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน

## สรุปผลด้านการนำไปใช้งาน

สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าภายในครัวเรือนชนิด 1 เฟส (Single phase) และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการตรวจวัดการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cells) ที่ใช้งานอินเวอร์เตอร์รุ่นเก่าที่ยังไม่มีเทคโนโลยีการสื่อสารฯ และไม่สามารถแสดงผลค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์(Real time) หรือการตรวจวัดการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าทั่วไปในครัวเรือน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มักมุ่งเน้นด้านการพัฒนา

เทคโนโลยี Smart Meter เพื่อวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นที่จะเปลี่ยนวัตต์มิเตอร์แบบอนาล็อกใหม่ทั้งระบบ ซึ่งที่กล่าวมาในข้างต้น ในการพัฒนาระบบดังกล่าวมีต้นทุนสูง และยังต้องได้รับการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. สำหรับประเทศไทย) เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป และอาจไม่มีความจำเป็นสำหรับการนำไปใช้บริหารจัดการพลังงานสำหรับภาคธุรกิจหรือครัวเรือนขนาดเล็กที่เน้นความคุ้มค่าในการลงทุน การติดตั้งและการใช้งานง่าย มีความแม่นยำของการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในระดับที่ยอมรับได้ เพื่อนำข้อมูลมาวางแผนบริหารจัดการ การใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**ข้อเสนอแนะและอุปสรรค**

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในงานครั้งนี้ ผู้พัฒนาได้ใช้ไลบารี่หรือซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาก่อนในบางส่วนมาปรับปรุงเพิ่มเติม เพื่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU ESP8266-12E) นั้น ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อให้ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์นั้น ยังพบข้อจำกัดและอุปสรรค ปัญหาต่าง ๆ โดยสรุปได้พอสังเขปดังนี้

**ข้อดี** จากการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้งานกับ NodeMCU ESP8266-12E, PZEM-004T

1. อุปกรณ์สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากการทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบมาประมาณ 6 เดือน

2. อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ Signal Strength ต่ำ ในการรับส่งข้อมูลยังไม่พบข้อผิดพลาด

3. อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า(PZEM-004T) มีไลบารี่ สามารถนำมาต่อยอดได้

4. อุปกรณ์ใช้พลังงานต่ำ เพียง 5.5 Vdc. เหมาะสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคตสามารถประยุกต์แหล่งจ่ายไฟ ที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กมาใช้งานร่วมได้

5. อุปกรณ์มีราคาถูก หาซื้อได้ง่ายและซ่อมแซมได้ง่ายหากเกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด

**ข้อเสีย** ในการทดสอบอุปกรณ์ที่พบในการทำงานของ NodeMCU ESP8266-12E, PZEM-004T

1. ในการใช้งานฟังก์ชันการทำงานของ Access point ของตัวอุปกรณ์ NodeMCU ESP8266-12E หากบริเวณที่ทำการทดสอบหรือติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบมีการใช้งานหรือปล่อยสัญญาณ Wi-Fi จาก Access point จำนวนมากและมีความแรงของสัญญาณสูง (Signal Strength) จะทำให้การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในการตั้งค่า (Config) อุปกรณ์ครั้งแรกก่อนใช้งานทำได้ยาก เนื่องจากความแรงของสัญญาณตัวอุปกรณ์ต้นแบบ (NodeMCU ESP8266-12E) อุปกรณ์ต่ำ

2. อุปกรณ์ต้นแบบ (NodeMCU ESP8266-12E) ไม่เหมาะกับการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีขนาดใหญ่เกิน 4MB เนื่องเป็นข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์

**ข้อควรระวัง ในการพัฒนาซอฟต์แวร์**

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ เราสามารถใช้ไลบารี่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาก่อนในการพัฒนาซอฟต์แวร์ใหม่ ๆ แต่สิ่งที่ผู้พัฒนางานในครั้งนี้พบคือ ไลบารี่ที่นำมาใช้งานร่วมกันต้องมีความสัมพันธ์กัน ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาซอฟต์แวร์ให้กับ NodeMCU ESP8266-12E เฟิร์มแวร์ของ NodeMCU ESP8266-12E เป็น Version 1.0 การส่งข้อมูลเป็นแบบ JSON เป็น Version 1.2 ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ก็ต้องใช้ไลบารี่ เวอร์ชั่นดังกล่าวด้วย หากการพัฒนาซอฟต์แวร์ใช้ไลบารี่ไม่เป็นไปตามที่กล่าวมาข้างต้น การเขียนซอฟต์แวร์แม้จะถูกต้องแต่ก็จะไม่สามารถใช้งานได้โดยไม่ทราบสามเหตุว่าเกิดข้อผิดพลาด (Error) จากเหตุผลใด

**ความเห็นของผู้พัฒนาซอฟต์แวร์**

ในส่วนของฮาร์ทแวร์ที่เป็นคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU ESP8266-12E) ที่เลือกนำมาใช้งานในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในงานนี้นั้น เป็นอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการสื่อสาร Wi-Fi, Bluetooth และการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวอุปกรณ์ด้วย Serial port เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้งานในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อรับส่งข้อมูลที่มีจำนวนไม่มากและการประมวลผลที่ไม่ซับซ้อน หรือจำนวนการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ไม่มากเกินข้อจำกัดของอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีขนาดไม่ใหญ่เกิน 4MB อีกทั้งยังมีราคาถูกหาซื้อง่ายในปัจจุบัน อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่เป็นอนาล็อกได้หลายชนิดที่ต้องการเก็บข้อมูลระยะไกลแบบเรียลไทม์หรือมีกำหนดช่วงเวลา เพื่อการนำข้อมูลไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของงาน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ทมิเตอร์ นั้นใช้ต้นทุนต่ำมาก ซึ่งเหมาะสำหรับที่จะพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็น Smart meter ต่อไปในอนาคต

**คำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ**

สำหรับงานพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ครั้งนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้คำแนะนำในการต่อยอดการพัฒนาซอฟต์แวร์ กับผู้พัฒนางานครั้งนี้ และผู้ที่ได้ศึกษารายละเอียดในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อต่อยอดงานไว้ ดังนี้

1. ในการวางระบบต้นแบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ควรมีระบบสำรองไฟฟ้าเพื่อใช้ในระหว่างที่เกิดไฟฟ้าดับ เพื่ออุปกรณ์ต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

2. ในการเก็บข้อมูลแนะนำให้ทำระบบสำรองข้อมูล สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบไว้ ณ จุดติดตั้งด้วย หรือเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อป้องกันการเกิดการหยุดการทำงานของฟังก์ชั่นของการส่งข้อมูลของอุปกรณ์สื่อสาร หรือเกิดการเสียหายของอุปกรณ์ตรวจวัด และการสูญเสียข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า ณ จุดติดตั้งอุปกรณ์

3. ในการแสดงผลในการพัฒนาต่อยอดงาน ควรมีการแสดงผลค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในแต่ละรอบบิล หรือการเริ่มของรอบบิลจนถึงปัจจุบัน ว่ามีค่าใช้จ่ายค่าพลังงานเท่าไหร่ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนเรื่องค่าใช้จ่ายเรื่องการใช้พลังงานในแต่ละรอบบิล (Real time billing)

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม


1. www.th.wikipedia.org. *IEEE802.11 Standard*. 2020 08 May 2020 (cited 2020 15 Nov 2020); Available from: https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.
2. Factomart. การสื่อสารกับ *Power meter*. 2019 2019 (cited 2019 20122020); การสื่อสารกับ Power meter มีแบบไหนบ้าง). Available from: https://mall.factomart.com/communication-with-power-meter/.
3. ECMA.International. *ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard*. 2013 December 2017 (cited 2020 15 Nov 2020); 2nd edition, December 2017:(ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard). Available from: https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-404/.
4. D.Crockford. *rfc4627*. 2006 July 2006 (cited 2020 15 Nov 2020); The application/json Media Type for JavaScript Object Notation (JSON)). Available from: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4627.
5. Tan, H.R., C. Lee, and V. Mok. *Automatic power meter reading system using GSM network*. in *2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007)*. 2007. IEEE.
6. Luan, S.-W., et al. *Development of a smart power meter for AMI based on ZigBee communication*. in *2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*. 2009. IEEE.
7. Li, L., X. Hu, and W. Zhang. *Design of an ARM-based power meter having WIFI wireless communication module*. in *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. 2009. Ieee.
8. Morello, R., et al., *A smart power meter to monitor energy flow in smart grids: The role of advanced sensing and IoT in the electric grid of the future.* IEEE Sensors Journal, 2017. **17**(23): p. 7828-7837.
9. Jakus, D., J. Vasilj, and P. Sarajčev, *Advanced energy meter with load control based on ESP8266 module and MQTT protocol.* 2019.
10. Messaging(FCM), G.F.C. *Firebase database*. 2021 2021; Available from: https://firebase.google.com/docs/.

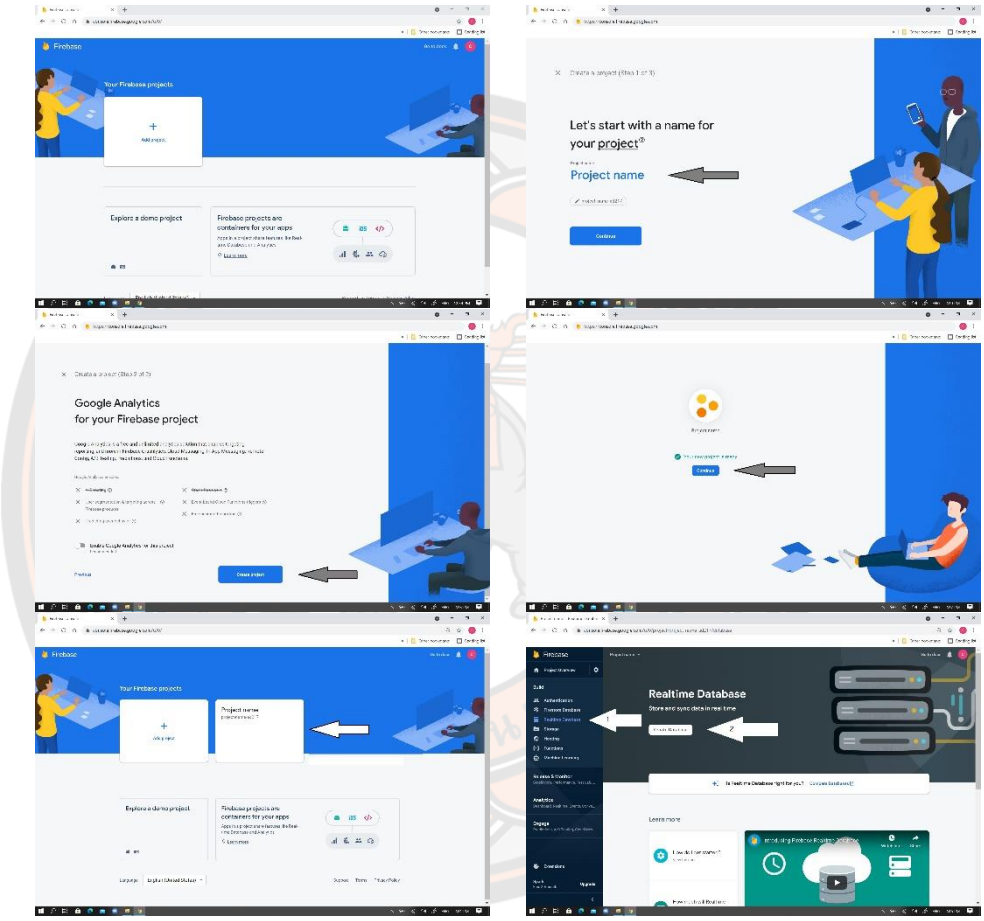
11. สนธยา นงนุช. *Fireboard* ภายใต้การพัฒนาโดย *IOXhop*. 2016  15 Sep 2020); Fireboad การแสดงผลข้อมูล จาก Firebase ภายใต้การพัฒนาโดย IOXhop). Available from: https://fireboard.xyz/about.html.

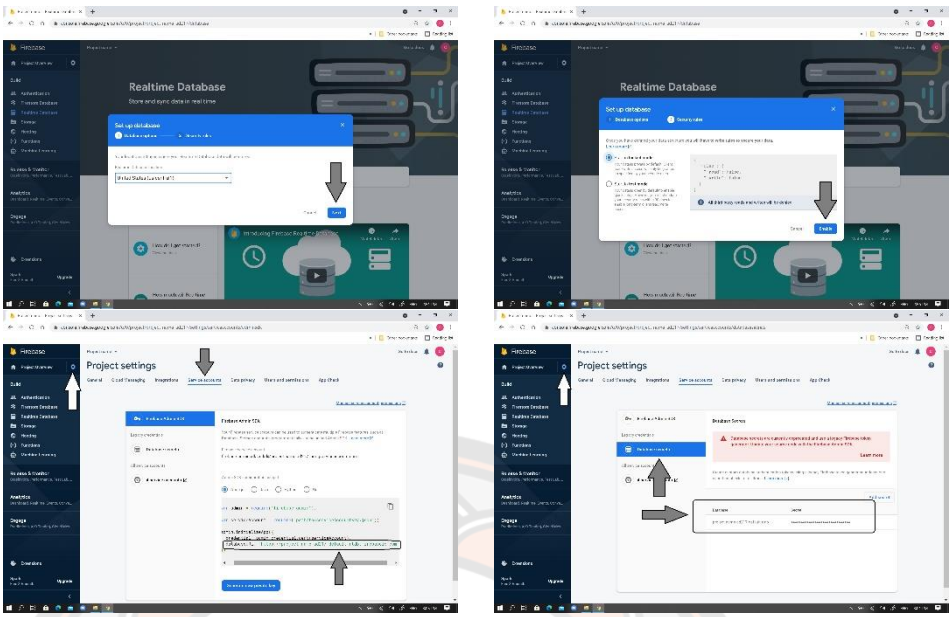
# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก. การตั้งค่าการบันทึกข้อมูล**

ในการบันทึกข้อมูลใน Google Firebase Database มีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มต้นการตั้งค่า Google Firebase Database เข้าเว็บไซต์ https://console.firebase.google.com/ แล้วดำเนินขั้นตอน ตามภาพ 15

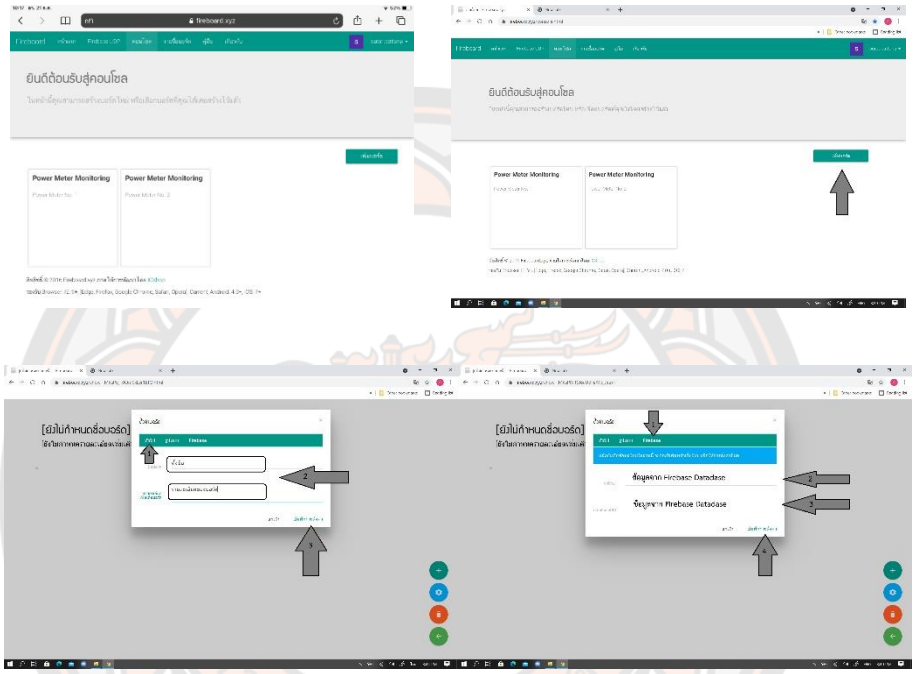




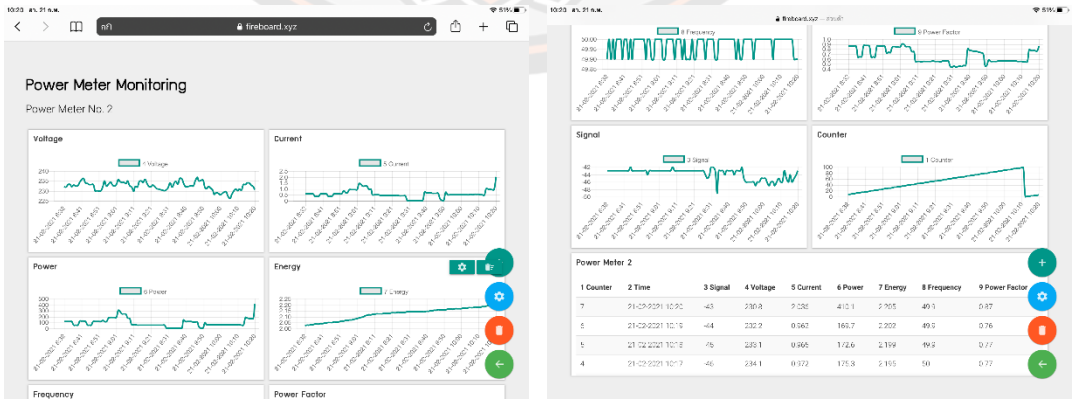

ภาพ 15 การตั้งค่า Google Firebase Database

**ภาคผนวก ข การตั้งค่าหน้าจอแสดงผล**

การตั้งค่าการแสดงผลข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้ใน Firebase Database https://fireboard.xyz/console.html โดยนำข้อมูลที่ได้จากการตั้งค่าจาก เว็บไซต์ Google Firebase Database มาป้อนใน Fireboard แสดงตามภาพ 16

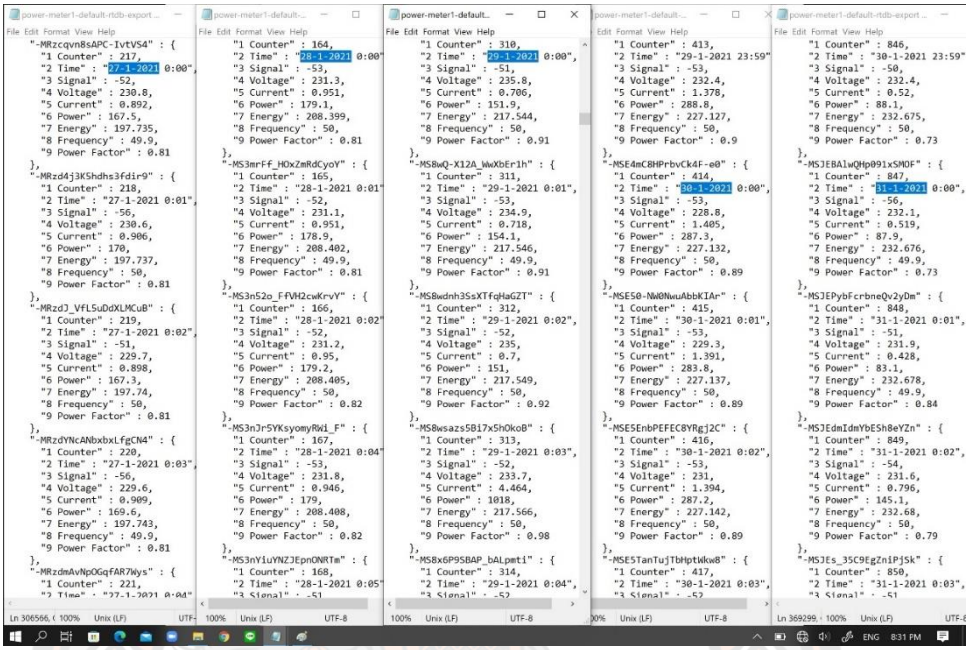



**ภาพ 16 การตั้งค่าการแสดงผล**

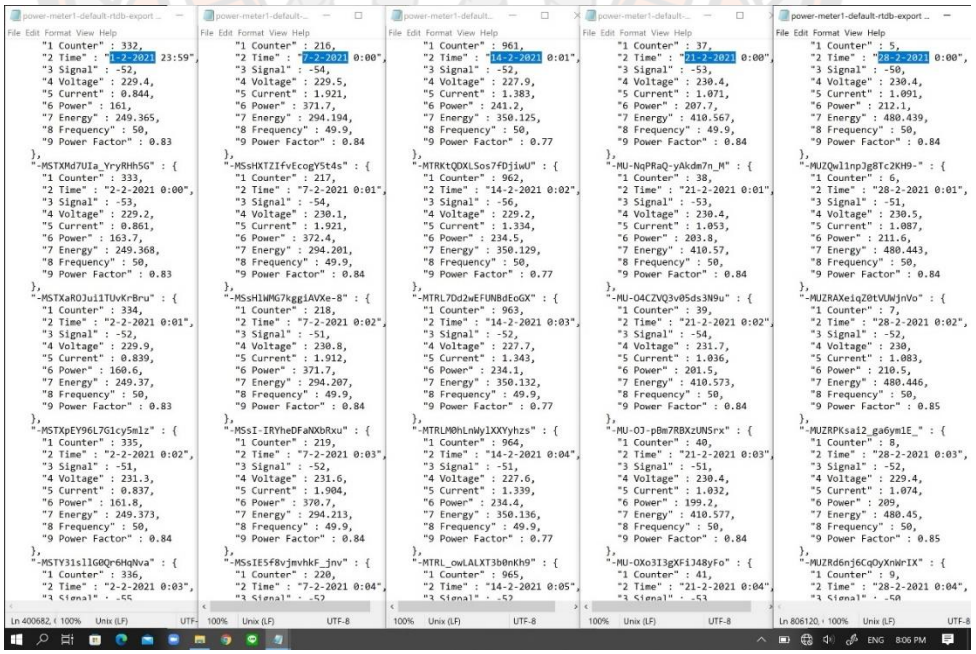



**ภาพ 17 ผลการบันทึกข้อมูล**

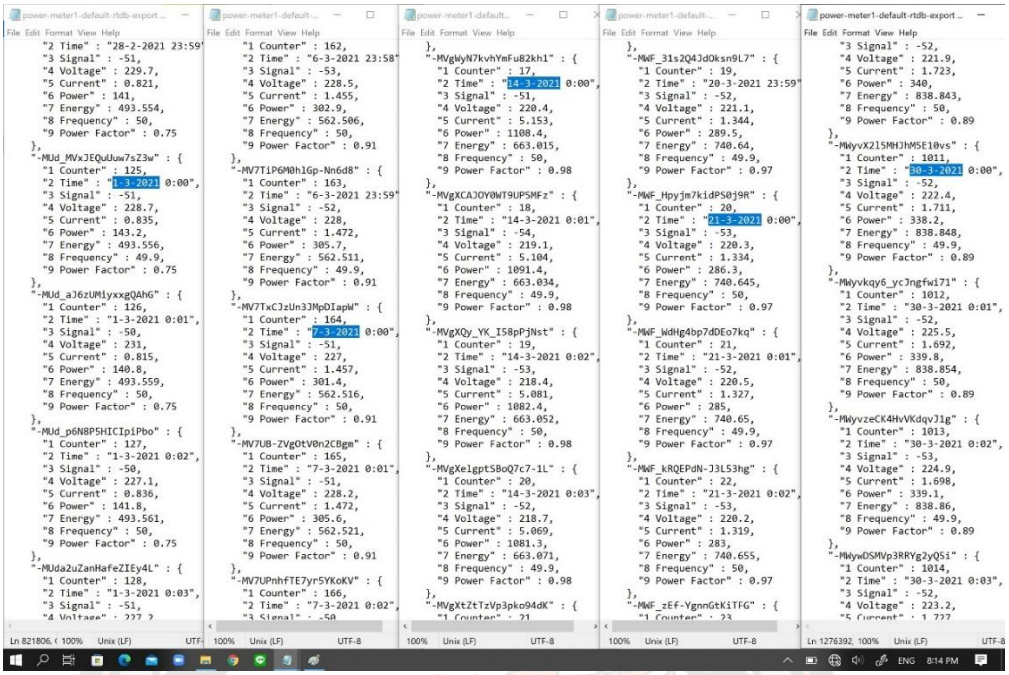
**ภาคผนวก ค การบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบต้นแบบ**



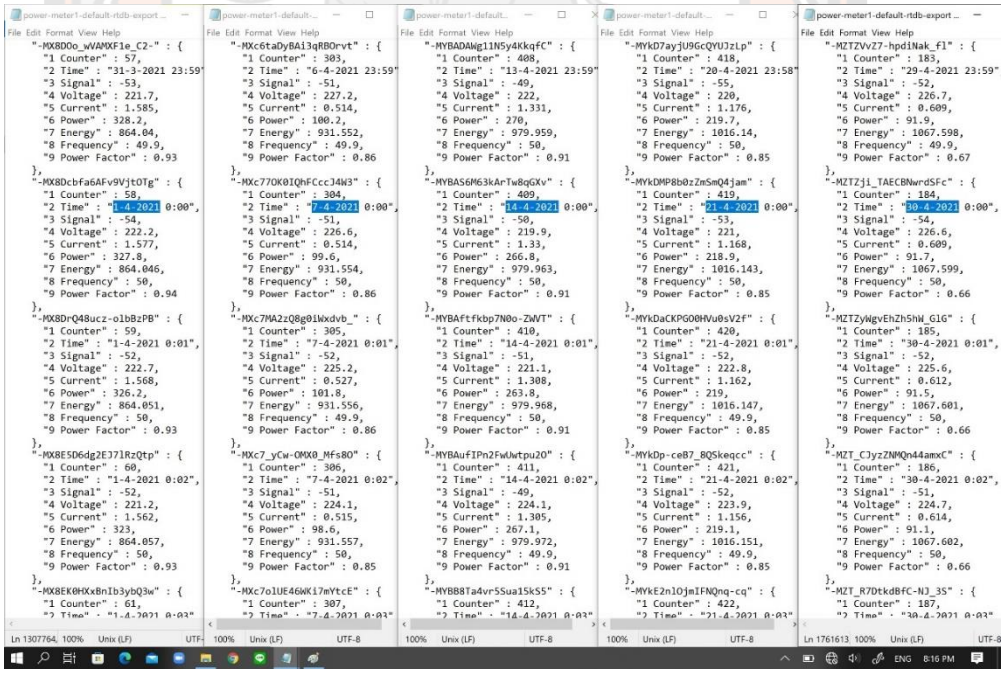
**ภาพ 18 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 07/01/2021 ถึง 31/01/2021**



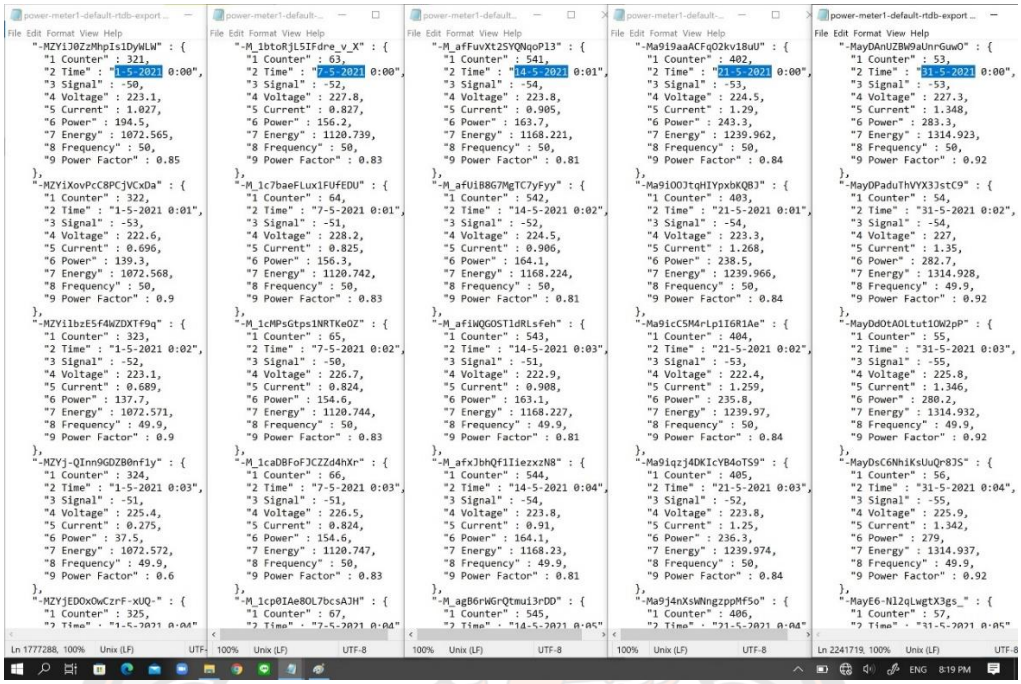
**ภาพ 19 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/02/2021 ถึง 28/02/2021**



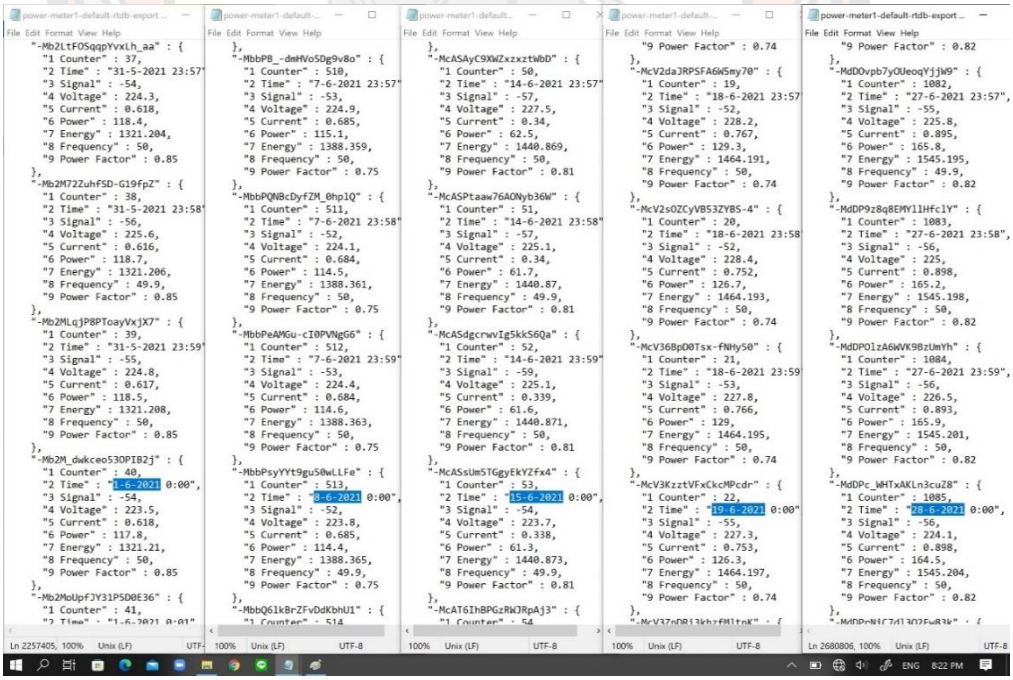
ภาพ 20 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/03/2021 ถึง 30/03/2021



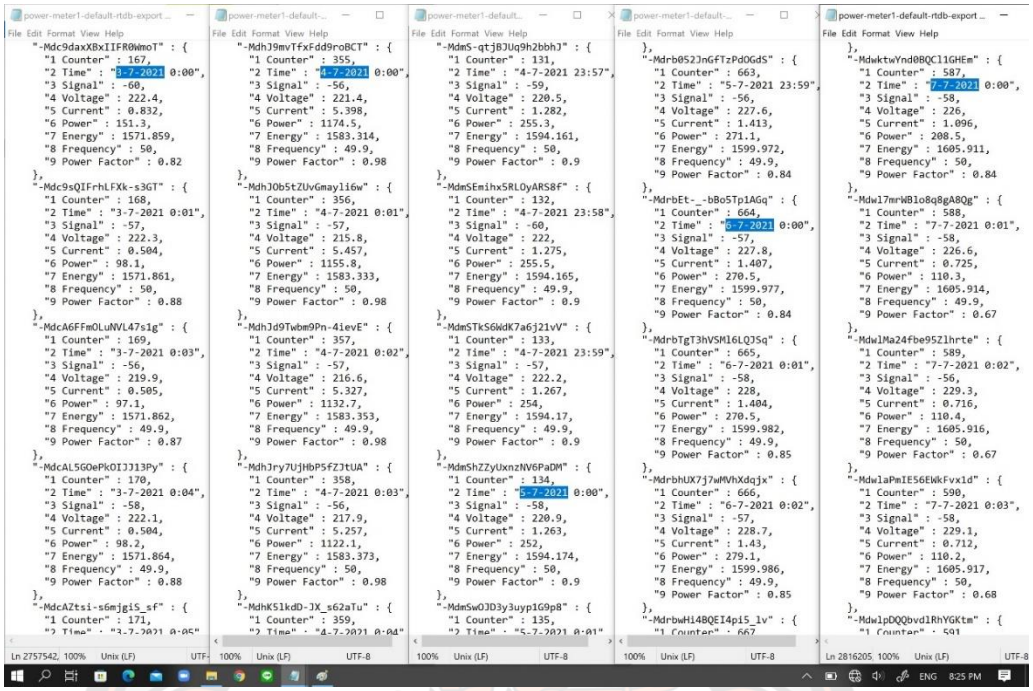
ภาพ 21 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/04/2021 ถึง 30/04/2021



ภาพ 22 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/05/2021 ถึง 31/05/2021



ภาพ 23 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 01/06/2021 ถึง 28/06/2021

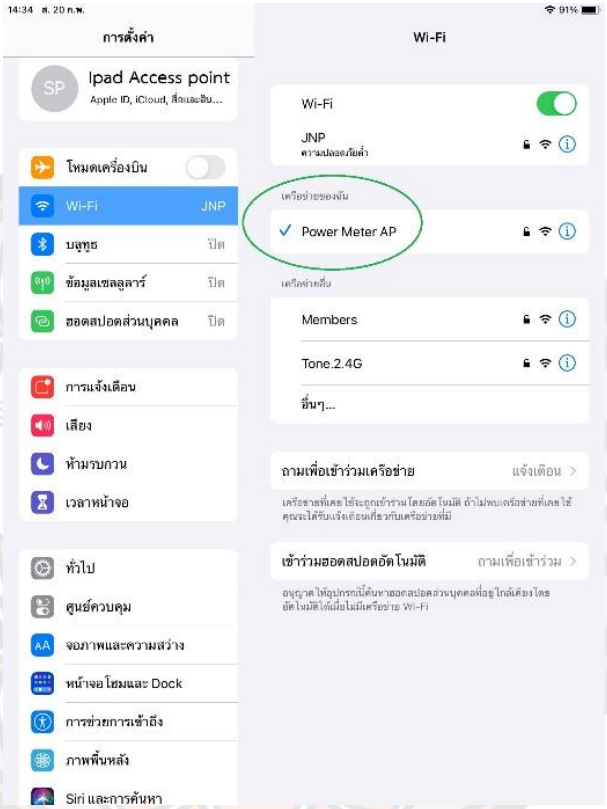


**ภาพ 24 ภาพการบันทึกการทำงานของระบบต้นแบบระหว่าง 03/07/2021 ถึง 07/07/2021**

**ภาคผนวก ง การตั้งค่าการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของอุปกรณ์ต้นแบบ**

การตั้งค่าการเชื่อมต่อระบบอินเตอร์เน็ตให้กับอุปกรณ์ต้นแบบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

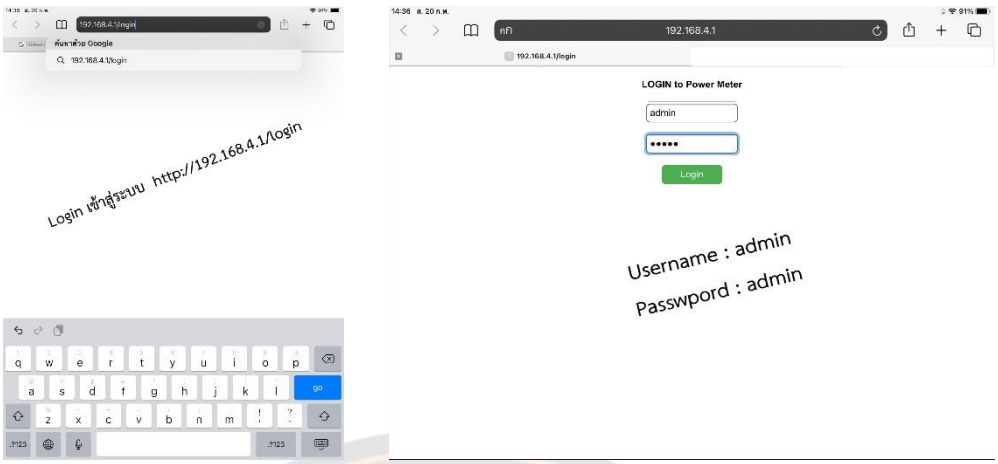
1. ทำการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์, แท็บเล็ตหรืออุปกรณ์อื่น ที่จะใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์ ดังภาพ 25




**ภาพ 25 การเชื่อมต่อ Access point**

2. เมื่อเชื่อมต่อได้แล้วให้ป้อน URL เพื่อเข้าสู่การตั้งค่าระบบ โดย URL ที่ตั้งค่าไว้คือ http://192.168.4.1/login

3. เมื่อเข้าสู่หน้า Login ระบบ ป้อน Username และ Password เพื่อเข้าสู่ระบบดังภาพ 26

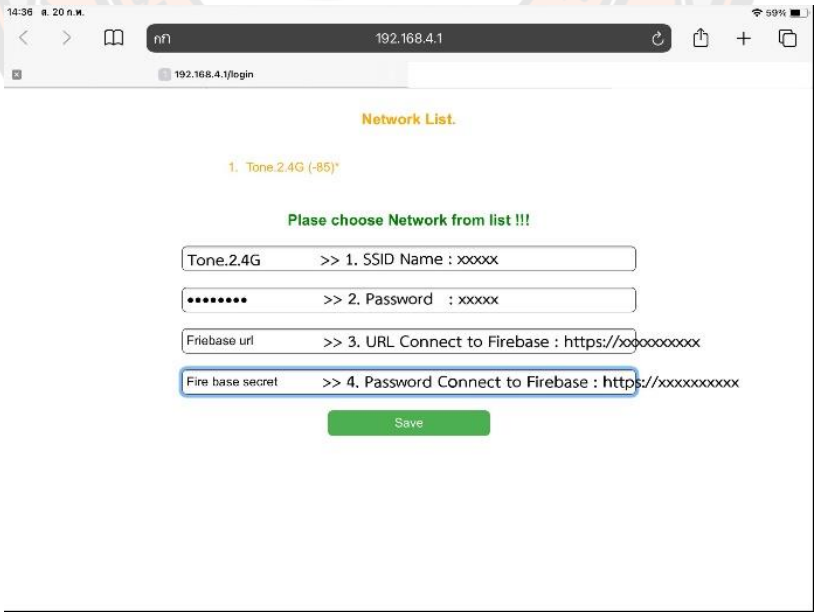



**ภาพ 26 Login เข้าสู่ระบบ**

4. เมื่อเข้าสู่หน้า Login ระบบแล้วระบบจะแสดงค่าของ Access point ต่าง ๆ ที่ระบบค้นหาพบ ในเมนู Network List. เพื่อทำการเชื่อมต่อ

5. เมื่อผู้ใช้งานระบบเลือกที่จะใช้งาน Access point ตัวใด ให้ทำการป้อนชื่อ Network SSID Name, Password รวมถึงค่า Firebase URL, Firebase secret

6. เสร็จสิ้นการตั้งค่าระบบ แสดงดังภาพ 27

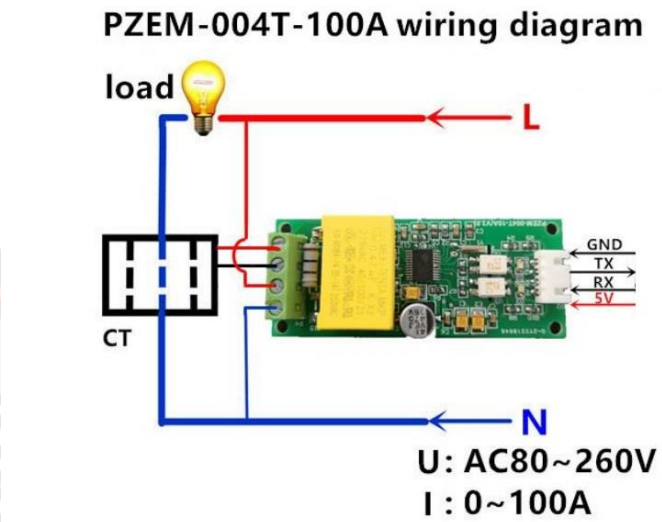



**ภาพ 27 ใส่ค่าสำหรับการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย**

**ภาคผนวก จ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัด**

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นแบบในการทดสอบ มีดังนี้

1. ภาพ 28 แสดง Wiring diagram ของ ชุดวัดค่าตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า (PZEM-004T-100A) กับโหลด




**ภาพ 28 Wiring diagram**

2. ภาพ 29 แสดงภาพอุปกรณ์ต้นแบบ พร้อม CT 100A สำหรับโหลดไม่เกิด 100A

**ภาพ 29 อุปกรณ์ต้นแบบ**

3. ภาพ 30 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นแบบ พร้อม CT ในการเชื่อมต่อกับ Load Center ในบ้านพักอาศัย เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ ในการวัดค่าพลังงาน โดยทำการประกอบอุปกรณ์ ตาม Wiring diagram ภาพ 28

**ภาพ 30 การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อการทดสอบ**

# ประวัติผู้วิจัย

# ประวัติผู้วิจัย

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-นามสกุล** | สุรัติ พัฒนา |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | |
| **ที่ทำงานปัจจุบัน** | บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด(มหาชน)<br>22/2 ถนนราเมศวร ตำบลประตูชัย<br>อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 |
| **ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน** | นักคอมพิวเตอร์ 6 |
| **ประวัติการศึกษา** | 2548 วท.บ. (เทคโนโลยีสารสนเทศ)<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |