

Received: January 22, 2025; Revised: March 6, 2025; Accepted: March 31, 2025

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย Development of 5-unit IoT-based electricity meters

ณรงค์ชัย ดีสม^{1*} บุตรีดี มะลัยทอง¹ ปรัชญา ประยงค์หอม¹ จำนงค์ พันสนิท¹ และบุญเจตน์ แจ่มจันทร์²
Narongchai Deesom^{1*}, Buddee Malaithohg¹, Prachya Prayonghorm¹,
Chamnong Pansanit¹ and Boonjet Jamjan²

¹แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Department of Electrical Engineering, Surin Technical College, Surin Province

²แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

²Department of Electronics Engineering, Surin Technical College, Surin Province

*Corresponding Author: Email Address : narong.deesom@gmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย และพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด โดยมิเตอร์ไฟฟ้าที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0 และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มิเตอร์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 230 V สำหรับเลี้ยงวงจร ผลการวิจัยพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT โดยใช้โมดูลวัดปริมาณไฟฟ้า (PZEM 004t) จำนวน 5 ตัว สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้า ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) มีความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$ กระแสไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และกำลังไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV และผลการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ การแสดงผลผ่านแดชบอร์ดถูกต้องและแม่นยำตรงแบบเวลาจริง สามารถดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ผ่าน Web browser และสามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้วิเคราะห์และบริหารจัดการได้

คำสำคัญ : มิเตอร์ไฟฟ้า ปริมาณทางไฟฟ้า คลาวด์

Abstract

The development of five-unit IoT-based (Internet of Things) electricity meters aimed to design, evaluate, and verify their characteristics, also to develop a data transmission system to the cloud and display the information via a dashboard. The developed electricity meters could measure electrical quantities using the PZEM-004T v3.0 energy measurement module and transmit data to an ESP32 board for processing before sending it to the cloud via an internet network. The electricity meters operated at a voltage of 230V to power the circuit. The research results indicated that the five IoT-based electricity meters, utilizing PZEM-004T energy measurement modules and communicating via the Modbus protocol, could accurately measure electrical quantities, including voltage (V), current (A), power (W), frequency (Hz), power factor

(PF), and energy consumption (Wh). The measurement errors observed were $\pm 0.16\%$ for voltage, $\pm 0.91\%$ for current, and $\pm 0.80\%$ for power. All were within the accuracy standard limit set by the Provincial Electricity Authority at $\pm 2.5\%$ error for the meter installed in lower than 33 kV voltage system. Additionally, data transmission to the cloud and the dashboard display was accurate and real-time precise. In conclusion, the development of five-unit IoT-based electricity meters demonstrated acceptable measurement accuracy and reliable data presentation through the dashboard. Historical electricity consumption data could be accessed via a web browser, and the data could be utilized for analysis and management purposes.

Keywords: Electricity meter, Electrical quantities, Cloud

บทนำ

อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทยส่วนใหญ่ ยังคงพึ่งพาการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ และผู้ประกอบการไทยเป็นเพียงผู้รับจ้างประกอบที่ไม่มีเทคโนโลยีเป็นของตนเอง ทั้งยังขาดความเชื่อมโยงระหว่างการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยการมีโครงสร้างการผลิตที่พึ่งพาแรงงานสูงและใช้เงินลงทุนต่ำ ส่งผลให้อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทยยังไม่สามารถก้าวเป็นผู้นำตลาดของอาเซียน และไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศได้เท่าที่ควร (National Economic and Social Development Council, 2022)

พลังงานไฟฟ้า คือ ปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตประจำวัน นอกจากการให้แสงสว่างในยามค่ำคืน ให้ความร้อนในการหุงต้มและรีดผ้า ให้พลังงานที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องปั่น เครื่องทำความเย็น และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ แล้ว พลังงานไฟฟ้ายังมีความจำเป็นต่อการสื่อสาร การคมนาคม เศรษฐกิจ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ฯลฯ โดย “ไฟฟ้า” เป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงการยกระดับอุตสาหกรรมให้ทัดเทียมอารยประเทศ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการกระจายรายได้ การสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิตและการขายสินค้า ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ (NPS Public Company Limited, 2024)

ในประเทศไทยได้มีรูปแบบการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา ซึ่งจำเป็นต้องใช้มาตรแบบอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าสิบปีแล้ว แต่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เลือกคิดค่าไฟฟ้าแบบนี้มีจำนวนไม่ถึงแสนราย มาตรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ยังไม่มีความสามารถถึงขั้นมาตรอัจฉริยะ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ประกาศแผนที่นำทางโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart grid road map) ในปี พ.ศ. 2554 ซึ่งในแผนได้กำหนดให้มีโครงการนำร่องที่จะติดตั้งมาตรอัจฉริยะ ประมาณ 400,000 ตัว ภายในเวลา 5 ปีข้างหน้า และจะเปลี่ยนมาตรที่ติดตั้งอยู่ทั้งหมดประมาณ 12 ล้านตัว ให้เป็นมาตรอัจฉริยะเกือบทั้งหมด อนึ่ง ปัจจุบันนี้ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ติดตั้งมาตรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการอ่านหน่วยไฟฟ้าจากระยะไกล โดยใช้การสื่อสารแบบ GPRS แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ ประมาณ 8 หมื่นรายอยู่แล้ว การไฟฟ้านครหลวงกำลังศึกษาแผนที่นำทางโครงข่ายอัจฉริยะ และมีโครงการนำร่องที่จะติดตั้งมาตรอัจฉริยะจำนวนมากในอนาคตเช่นกัน (Pora, 2024) ในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 หน่วยงานหลักในการคุ้มครองผู้บริโภคหรือ สคบ. ได้ออกประกาศควบคุมสัญญาเรื่องธุรกิจให้เช่า ซึ่งมีเนื้อหาใจความสำคัญด้วยกันหลายประการ อาทิ การห้ามเก็บค่าเช่าล่วงหน้าเกิน 1 เดือน การยกเลิกสัญญาเช่าโดยต้องแจ้งล่วงหน้าก่อน 30 วัน การผิดสัญญาเช่า เป็นต้น โดยทั้งหมดนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการควบคุมสัญญาเท่านั้น โดยในเนื้อหายังมีอีกข้อควบคุมหนึ่งที่หอพัก อพาร์ทเมนต์ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด และเป็นหนึ่งเรื่องที่ผู้เช่าไม่ควรพลาดเช่นกันก็คือ “ห้ามหอพัก อพาร์ทเมนต์ เรียกเก็บค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าโทรฯ เกินกว่าอัตราที่ผู้ให้บริการกระแสไฟฟ้าและน้ำประปาเรียกเก็บจากผู้ประกอบการ” ซึ่งหมายความว่านับตั้งแต่นี้ไป ผู้เช่ามีสิทธิในการจ่ายค่าน้ำค่าไฟตามอัตราที่การไฟฟ้าและการประปาเรียกเก็บ โดยผู้ให้เช่าต้องนำใบเสร็จหรือแสดงหลักฐานในการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในส่วนนี้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเป็นข้อกฎหมายที่ผู้เช่าหอพัก/อพาร์ทเมนต์ทุกคนควรจะต้องรู้ เพื่อป้องกันการเรียกเก็บค่าน้ำ ค่าไฟ ที่เกินความเป็นจริงจากผู้ให้เช่า ทั้งนี้ก่อนที่จะมีการออกประกาศควบคุมเรื่องการเก็บค่าน้ำค่าไฟจากหอพักหรืออพาร์ทเมนต์นั้น ผู้เช่าหลาย ๆ คนคงเห็นว่าระบบการเก็บค่าน้ำค่าไฟของหอพักและอพาร์ทเมนต์ต่าง ๆ จะมี 2 รูปแบบ คือ 1) การเก็บค่าน้ำค่าไฟโดยคิดเป็นหน่วยตามที่ใช้จริง แต่ค่าใช้บริการต่อหน่วยเป็นราคาที่ทางหอพักกำหนดเอง ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเก็บค่าไฟอยู่ที่หน่วยละ 5-8 บาท และค่าน้ำอยู่ที่หน่วยละ 20-25 บาท 2) การเรียกเก็บค่าน้ำค่าไฟแบบเหมาจ่ายต่อเดือน ซึ่งส่วนใหญ่จะเฉลี่ยจากการใช้น้ำ ใช้ไฟ ของผู้ใช้งานต่อเดือน (Natni, 2024)

มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ช่วยให้ทั้งผู้ให้บริการและผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถติดตามและจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส แบบอัตโนมัติและแสดงผลด้วย ThingsBoard นำเสนอวิธีการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32S ซึ่งเชื่อมต่อผ่านช่องทางสื่อสาร RS-485 โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU และส่งข้อมูลที่อ่านได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงที่ ThingsBoard Server จากการทดลองสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ตรงแบบเวลาจริง สามารถดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ผ่าน Web browser และสามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้วิเคราะห์และบริหารจัดการได้ (Teejanthuek et al., 2021) และงานวิจัยต้นแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ 3 เฟส สำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ สามารถนำไปใช้งานได้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 220 V +10% และพิกัดกระแสไฟฟ้า (30)100 A โดยใช้ไอซี ADE7880 ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU ARM7 เบอร์ LPC2148 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดในการตรวจวัดไม่เกิน +4% โดยมีมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้น สามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ พลังงานไฟฟ้า (kWh, kVARh และ kVAh) และ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และสามารถแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ผ่านหน้าจอ LCD อีกทั้งยังใช้ Zigbee เป็นอุปกรณ์ในการสร้างโครงข่ายของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย สำหรับการรับส่งข้อมูลเพื่อบันทึกและแสดงผลระยะไกลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Visual studio (GUI) ที่สร้างขึ้น โดยรับส่งข้อมูลที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ด้วยคุณสมบัติของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะดังกล่าว จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลและพฤติกรรมการใช้พลังงานได้ด้วยตนเองผ่านช่องทางที่สะดวกและง่ายขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถบริหารจัดการการใช้งานพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากขึ้น (Chanput, 2013)

คณะผู้วิจัยมีความสนใจพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ที่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้ครั้งละ 5 หน่วย ด้วยโมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า Pzem-004t v3.0 จำนวน 5 ตัว ส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus ให้ ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังระบบคลาวด์และติดตามตรวจสอบข้อมูลผ่านหน้าเว็บแอป ซึ่งระบบนี้สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือต่อร่วมกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบจานหมุนเดิมที่ติดตั้งอยู่แล้ว เพื่ออำนวยความสะดวกและให้การจัดการจัดเก็บค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของผู้ประกอบการที่คิดกับลูกค้ามีความยุติธรรมและเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จัดการและการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าของ อาคารชุด อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ครั้งนี้ ได้ออกแบบโครงสร้างและหลักการทำงาน เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณที่ไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านไวไฟและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังคลาวด์ (Figure 1)

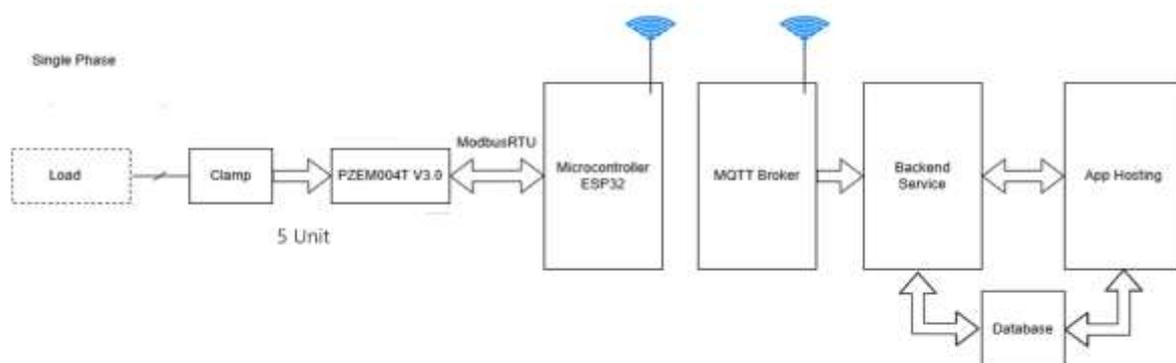


Figure 1 Structure and working principle of 5-unit IoT electricity meter

1.1 การสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.1.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน การออกแบบวงจรไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย กำหนดขาใช้งานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32S กับจอแสดงผล LCD 16X2 I2C และ PZEM 004t จำนวน 5 ตัว (Figure 2)

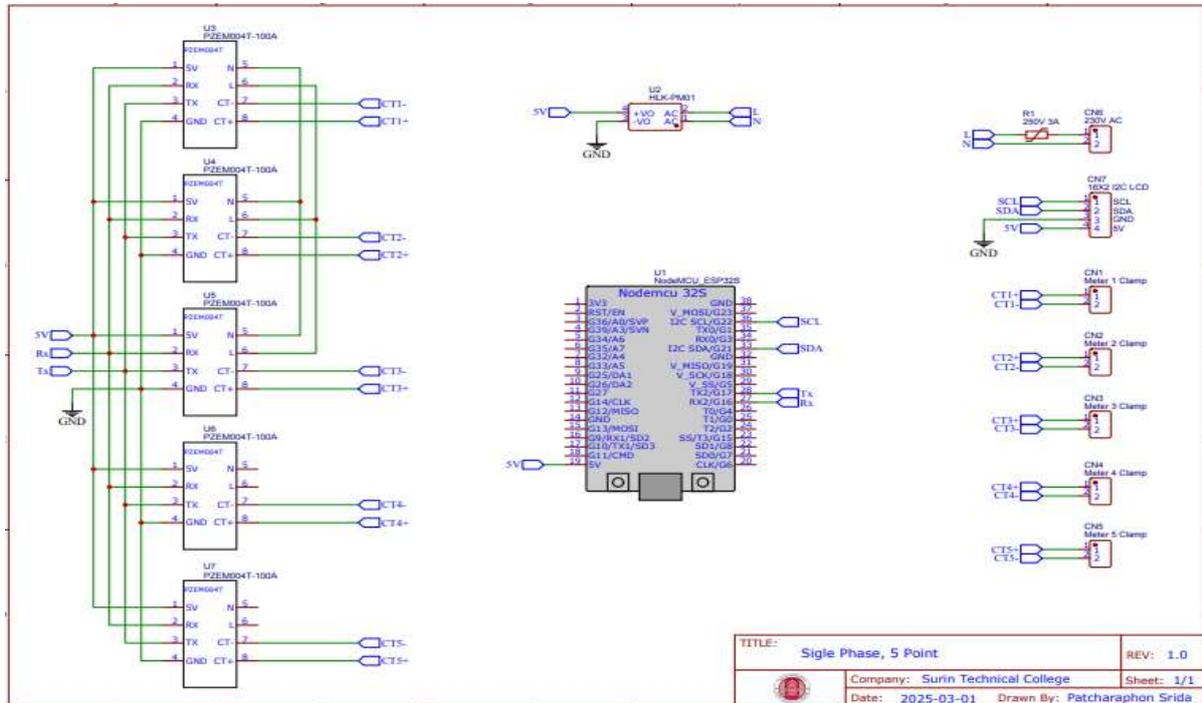


Figure 2 Five-unit IoT electricity meter circuit diagram

1.1.2 ออกแบบและจัดทำแผ่น PCB มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย (Figure 3) มีอุปกรณ์เช่น บอร์ด ESP32S โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0

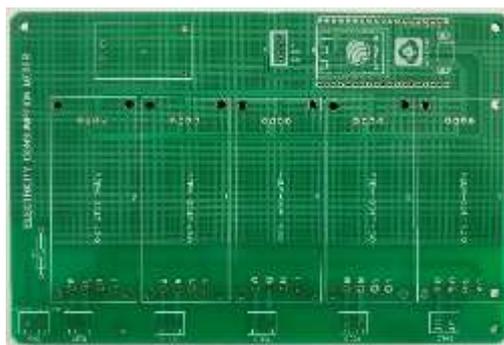


Figure 3 Five-unit IoT electricity meter PCB board

1.1.3 บอร์ด ESP32S เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย Espressif systems ซึ่งเป็นชิปที่ได้รับการปรับปรุงจากรุ่น ESP8266 โดยเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth (ทั้ง Classic และ BLE) พร้อมกับทรัพยากรที่แรงขึ้น เช่น ซีพียูแบบดิวอัลคอร์, แรมมากขึ้น, GPIO มากขึ้น และรองรับการเข้ารหัสข้อมูล ทำให้ ESP32S เหมาะสำหรับ IoT, ระบบสมาร์ตโฮม, อุปกรณ์ไร้สาย และแอปพลิเคชันที่ต้องการการสื่อสารระยะไกล ดัง Figure 4



Figure 4 ESP32S board

1.1.4 โมดูลเซนเซอร์วัดปริมาณไฟฟ้าเลือกใช้ PZEM-004 มีคุณสมบัติรองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 80-260 VAC (50/60 Hz) กระแสสูงสุด 100 A (ขึ้นอยู่กับ CT ที่ใช้) พลังงานที่สามารถวัดได้ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) กำลังไฟฟ้า (Power) พลังงานสะสม (Energy) มีความแม่นยำ แรงดันไฟฟ้า: $\pm 0.5\%$ กระแสไฟฟ้า: $\pm 0.5\%$ กำลังไฟฟ้า: $\pm 1\%$ พลังงานสะสม: $\pm 1\%$ การเชื่อมต่อสื่อสารใช้ RS-485 (Modbus RTU) หรือ UART (TTL 5V) เหมาะสำหรับเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino, ESP8266, ESP32S, Raspberry Pi การใช้พลังงานต่ำสามารถใช้ในการตรวจสอบพลังงานต่อเนื่องได้ การออกแบบที่กะทัดรัด ขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย เหมาะกับการใช้ในกล่องควบคุมไฟฟ้าต่าง ๆ การนำไปใช้งานใช้วัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในระบบ Home automation และ IoT ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคาร ดัง Figure 5



Figure 5 Electrical measurement module PZEM 004t v3.0

1.1.5 เขียนโปรแกรมให้โมดูลวัดปริมาณไฟฟ้า (PZEM 004t) จำนวน 5 ตัว ใช้ขาสื่อสาร RX/TX ของ ESP32S เชื่อมกับ PZEM-004T โดยตรงด้วยการสื่อสารด้วย Modbus โพรโทคอล เพื่อส่งคำสั่งไปยัง PZEM-004T วัดปริมาณทางไฟฟ้า ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) และส่งข้อมูลกลับไปยังบอร์ด ESP32S เพื่อประมวลผลไปยังระบบคลาวด์ ผ่านไวไฟและเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.2 การตรวจสอบคุณลักษณะมิเตอร์ไฟฟ้า IoT 5 หน่วย

1.2.1 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย โดยการวัดปริมาณทางไฟฟ้าขณะที่ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดไฟแบบ PAR38 ขนาด 120 W ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่อ่านได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ดังสูตร Eq.1 และ Eq.2 (Nunak & Suesut, 2012)

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าจริง}}{\text{ค่าจริง}} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

1.2.2 เกณฑ์คลาดเคลื่อนการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้า ดำเนินการหาค่าความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ ตามเกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV (Provincial Electricity Authority, 2019)

2. เพื่อพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด

2.1 เขียนโปรแกรมสร้างหน้าตาเว็บแอป ชื่อ Smart Canteen ติดตั้งที่ <http://35.197.134.127> เขียนโดยใช้ภาษา TypeScript กำหนดโครงสร้าง 3 ส่วน ประกอบด้วย จ่ายบิลค่าไฟ มิเตอร์และผู้ดูแล

2.2 เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ให้บอร์ด ESP32S สามารถส่งข้อมูลไปจัดเก็บบนฐานข้อมูลด้วยโปรโตคอล MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) เป็นโปรโตคอลสื่อสารแบบ publish/subscribe ที่ออกแบบมาสำหรับ IoT และระบบที่ต้องการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้พลังงานต่ำและแบนด์วิดท์ต่ำ เหมาะสำหรับเซ็นเซอร์, สมาร์ทโฮม, ระบบอัตโนมัติ และ IoT แสดงข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย จำนวน 3 ชุด และสามารถดูการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยพีเจอร์กราฟแบบรายเดือน

2.3 ทดสอบระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด การทดสอบระบบส่งข้อมูลเพื่อติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป ดำเนินการโดยการทดลองอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์ <http://35.197.134.127> ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.1 ผลการพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย มิเตอร์ไฟฟ้าที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0 และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มิเตอร์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 230 V สำหรับเลี้ยงวงจร ดัง Figure 6



Figure 6 Five-unit IoT electricity meter

1.2 ผลตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.2.1 ด้านคุณลักษณะ มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วยที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh)

1.2.2 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ดำเนินการวัดปริมาณทางไฟฟ้าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟแบบ PAR38 ขนาด 120 W ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) และกำลังไฟฟ้า (W) ด้วยอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์เปรียบเทียบกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย จำนวน 3 ครั้ง ผลการทดสอบดัง Table 1-4

Table 1 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the first test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	229	230	230	230.00	-0.09%
	5-unit IoT power meter	230	230	230	230	229	229.80	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.95%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117	118	117	117	118	117.40	1.02%
	5-unit IoT power meter	119	118	118	119	119	118.60	

จาก Table 1 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 1 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ 0.09% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.95% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 1.02%

Table 2 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the third test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	230	230	230	230.20	0.17%
	5-unit IoT power meter	231	230	230	231	231	230.60	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.56%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	118	118	117	117	118	117.60	0.85%
	5-unit IoT power meter	119	118	118	119	118	118.60	

จาก Table 2 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 2 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ 0.17% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.56% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 0.85%

Table 3 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the third test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	229	230	230	230.00	-0.52%
	5-unit IoT power meter	228	228	230	229	229	228.80	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.39%
	5-unit IoT power meter	0.50	0.52	0.52	0.50	0.53	0.51	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117	118	117	117	118	117.40	0.51%
	5-unit IoT power meter	119	117	117	119	118	118.00	

จาก Table 3 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 3 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ -0.52% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.39% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 0.51%

Table 4 The average voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meters and 5-unit IoT electricity meters from Table 1-3.

list	Electrical meter	Order			Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		1	2	3		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	230.00	230.20	230.00	230.07	0.16%
	5-unit IoT power meter	229.80	230.60	228.80	229.73	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.91%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.51	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117.40	117.60	117.40	117.47	0.80%
	5-unit IoT power meter	118.60	118.60	118.00	118.40	

จาก Table 4 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 229.80 V, 230.60 V และ 228.80 V ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า 0.52 A, 0.52 A และ 0.51 A และค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า 118.60 W, 118.60 W และ 118.40 W ตามลำดับ ผลการตรวจสอบ พบว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย การวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$, กระแสไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และ กำลังไฟฟ้า มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$

2. ผลการพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด

2.1 การพัฒนาเว็บแอป ภายใต้ชื่อ Smart Canteen ติดตั้งที่ <http://35.197.134.127> (Figure 7) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

2.1.1 จ่ายบิลค่าไฟ ระบบชำระค่าไฟฟ้าออนไลน์

2.1.2 คู่มือการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ แสดงข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าทางแดชบอร์ด

(Figure 8) และกราฟแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน (Figure 9)

2.1.3 ผู้ดูแล สำหรับผู้ดูแลและจัดการข้อมูล

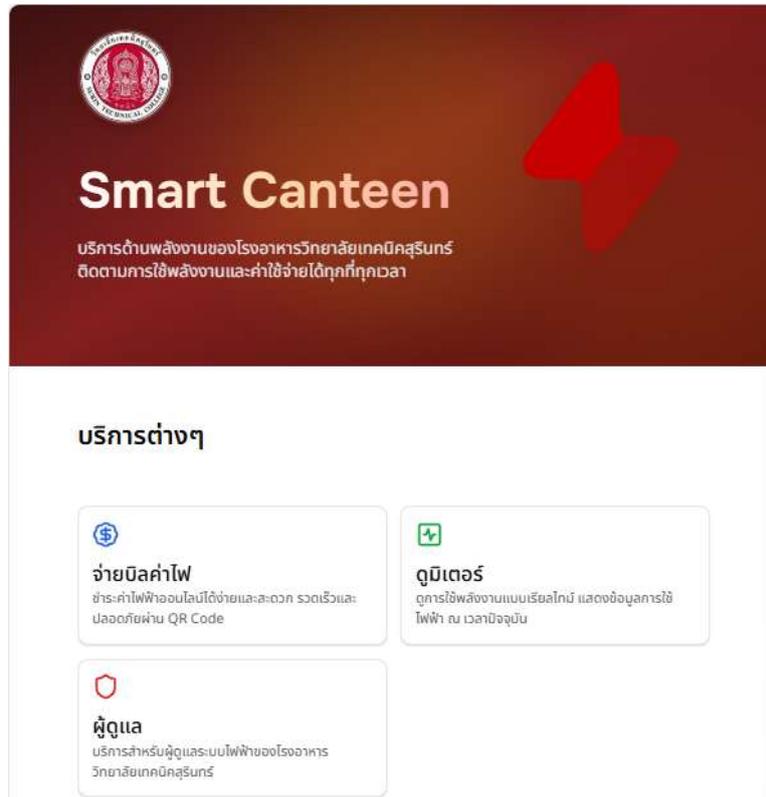


Figure 7 Smart canteen web app



Figure 8 Dashboard displays of electricity volume data



Figure 9 The graph of monthly electricity usage data

2.2 การพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดดำเนินการทดสอบระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป Smart canteen ผลการทดสอบดัง Table 5

Table 5 Test results of the data transmission system to the cloud and dashboard display results

Testing reading values via web app (Order)	Electrical quantity display results	
	Has the electrical quantity changed?	Is the electricity usage display correct?
1	✓	✓
2	✓	✓
3	✓	✓

Note: The ✓ symbol means that the answer can be done correctly. The X symbol means that the answer cannot be done.

จาก Table 5 พบว่า ระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป มีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้น ซึ่งจากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง ระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางไฟฟ้าได้ถูกต้องทั้ง 3 ครั้ง

การอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าและแสดงผลได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งระบบติดตามข้อมูลสามารถทำงานได้จริง ผลการดำเนินการด้านการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย การวัดแรงดันไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$, กระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และกำลังไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด เกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV และสอดคล้องกับงานวิจัย Wongsachua (2012) เรื่อง ระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Automatic electrical meter reading system via power line) ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% ผลการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดถูกต้อง 100%

บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) จำนวน 5 หน่วย โดยออกแบบให้สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่ เพาเวอร์แฟกเตอร์ และพลังงานไฟฟ้า โดยใช้โมดูล PZEM-004T v3.0 และส่งข้อมูลผ่านบอร์ด ESP32S ไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการทดสอบพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด (Provincial Electricity Authority, 2019) นอกจากนี้ ระบบสามารถส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดได้อย่างถูกต้อง จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วยที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในอาคารชุด อพาร์ทเมนต์ หรือระบบไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Chanput, E. (2013). *A prototype of a 3-phase smart electric meter for modern power grid systems* (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (In Thai)
- Electricity Generating Authority of Thailand (Provincial Electricity Authority). (2019). *Regulations of the Provincial Electricity Authority on the Practices Concerning Meters B.E. 2562 (2019)* (p. 69, Section 55.4). <https://infocenter.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER8/DRAWER048/GENERAL/DATA0001/00001913.PDF> (In Thai)
- National Economic and Social Development Council. (2022). *The 13th National Economic and Social Development Plan B.E. 2566–2570 (2023–2027)* (p. 72). https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/E/258/T_0001.PDF (In Thai)
- Natni, P. (2024, October 1). *Electricity and water bill collection laws in apartments: Important matters tenants need to know*. RentHub Blog. <https://blog.renthub.in.th/930--กฎหมายเรียกเก็บค่าน้ำค่าไฟ-ในอพาร์ทเมนท์-เรื่องสำคัญที่ผู้เช่าต้องรู้> (In Thai)
- NPS Public Company Limited. (2024, October 1). *Energy and renewable energy business company*. <https://www.npsplc.com/th/updates/blog/606>
- Nunak, N., & Suesut, T. (2012). *Measurement and measuring instruments applied in the food industry*. <https://www.foodnetworksolution.com/books/item/0068-measurement-and-instrumentation>. (In Thai)
- Pora, W. (2024, December 23). Basic knowledge on smart meters and guidelines for developing smart meter specifications. Energy Research Institute, Chulalongkorn University. <https://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/2014/03/Paper-3-of-3-Smart-Meter.pdf> (In Thai)
- Teejanthuek, A., Jarataku, P., & Siangmai, N. (2021). Automatic 3-phase electric meter reading system with ThingsBoard monitoring. In *Proceedings of the 44th Electrical Engineering Conference*, November 17–19, 2021 (pp. 696–699). King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (In Thai)
- Wongsaichua, W. (2012). Automatic electrical meter reading system via power line. In *Proceedings of the 6th Ubon Ratchathani University Research Conference*, July 25–27, 2012 (pp. 280–289). Ubon Ratchathani University. (In Thai)