

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลด เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที

A Smart Power Meter with Breaker Capacity Monitoring and Load Control System for Home Energy Management with IoT Technology

ชัยสิทธิ์ วันน้อย¹ วรชัย ศรีเมือง¹ วาสนา วงศ์ษา² และ นฤมล วันน้อย^{3*}

Chaisit Wannoi¹, Worachai Srimuang¹, Wassana Wongsas², and Narumon Wannoi^{3*}

¹สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

³สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹Department of Computer Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

²Department of Computer Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

³Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

Submitted 26/12/2022 ; Revised 17/02/2023 ; Accepted 8/3/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ ในส่วนระบบควบคุมโหลดได้ออกแบบสำหรับโหลดไฟฟ้าชนิด 1 เฟส สำหรับระบบเฝ้ามองได้ออกแบบให้สามารถติดตามค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ภายใต้การพิจารณาค่าแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ นอกจากนี้หากค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์นี้เพิ่มขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านให้เหมาะสมอีกทั้งสามารถนำข้อมูลไปคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เพื่อการจัดการพลังงานในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบควบคุมโหลด การจัดการพลังงาน ไอโอที

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: narumon.wan@pcru.ac.th

Abstract

This research presented a development of a smart power meter with real-time breaker capacity monitoring and load control system on mobile phones for home energy management with IoT technology by applying it to use with the blynk application. The load control system was designed for single-phase loads. The monitoring system was designed to monitor the electrical voltage, electrical current, electrical power, and the percentage load of the breaker while taking the breaker's amp trip value into account. If the percentage load of the breaker increased to the set value, the system will send an alarm message to the user via a line application for proper power management in the home. Moreover, the data can also be used to calculate the power and percentage load of the breaker for future energy management.

Keywords: smart power meter, load control system, energy management, IoT

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีด้านระบบสารสนเทศและไอโอทีมาใช้ในการพัฒนาและส่งเสริมด้านอุตสาหกรรมอย่างค่อนข้างมาก [1-3] แม้กระทั่งในบ้านเรือนก็มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที (internet of things technology, IoT) มาประยุกต์ใช้งานค่อนข้างมากเช่นเดียวกัน [4-6] ประกอบกับปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่ยุคสังคมผู้สูงอายุหรือผู้สูงอายุ ซึ่งพบว่าการดำเนินชีวิตปกติของกลุ่มผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีผู้คอยช่วยเหลือและแบ่งเบาภาระ เนื่องด้วยสภาพร่างกายที่ไม่ค่อยแข็งแรงจึงต้องพึ่งพาบุตรหลานในการทำงานต่าง ๆ เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบส่องสว่าง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเรือนเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบควบคุมระยะไกลหรือระบบควบคุมไร้สายแบบที่มีในโทรศัพท์ หรือเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งผู้สูงอายุบางกลุ่มอาจต้องอยู่บ้านตามลำพังในช่วงเวลาที่บุตรหลานต้องออกไปทำงานหรือเรียนหนังสือ จึงไม่มีผู้ช่วยเหลือดูแล ซึ่งเป็นสังคมแวดล้อมหรือตัวอย่างที่พบเห็นอยู่บ่อยครั้ง

ทีมผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาและตั้งคำถามว่าจะมีวิธีการอย่างไรที่จะช่วยแบ่งเบาภาระ สร้างความสะดวกในการดำเนินชีวิต และยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุได้ ซึ่งไม่ใช่เฉพาะความสะดวกสบายในการควบคุมหลอดไฟฟ้าเท่านั้น แต่รวมถึงวิธีการที่จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าที่สามารถพัฒนาไปสู่การบริหารจัดการพลังงานได้ รวมถึงเพื่อนำไปใช้ในการจัดการด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย โดยระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย จากการศึกษาพบว่ามีการออกแบบระบบควบคุมหลอดสำหรับสมาร์ตโฮมโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที [7] ซึ่งประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เป็นตัวประมวลผล ซึ่งการออกแบบนั้นได้ออกแบบให้สามารถสั่งการควบคุมหลอดผ่านเว็บเพจ (web page) และมีการออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที [8] ซึ่งได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับบราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) โดยการแสดงผลและแสดงผ่านหน้าเว็บเพจ ซึ่งสามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังพบว่าได้มีการออกแบบระบบควบคุมและตรวจสอบสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) [9] ว่าอยู่ในสถานะปิดวงจรหรือเปิดวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เพื่อการตรวจสอบใช้สำหรับการตั้งค่าหรือรีเซ็ตเบรกเกอร์ เพื่อลดเวลาการค้นหาและแก้ไขจุดบกพร่องของระบบไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุดและใช้สำหรับปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาของเบรกเกอร์ เพิ่มอายุการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของเบรกเกอร์โดยจะแสดงผลบนหน้าจอบอร์ดคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมการควบคุมหลอดสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน [10] โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวประมวลผลและใช้เซนเซอร์ ADE7758 ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยการควบคุมจะติดตามและควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยเพิ่มระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และระบบควบคุมหลอดสำหรับใช้ในการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที และช่วยอำนวยความสะดวกโดยการควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน [11, 12] งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ (blynk) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่มีการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสมาร์ตโฮมร่วมกับเทคโนโลยีไอโอทีในการควบคุมหลอด [13] และในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการออกแบบควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และนำไปใช้สำหรับออกแบบระบบเฝ้ามองการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าในบ้านเรือน ซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ และออกแบบให้มีระบบเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์เพื่อตรวจสอบความสามารถคงเหลือของเบรกเกอร์ในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดเพื่อนำข้อมูลไปบริหารจัดการพลังงานในบ้านให้เหมาะสม ซึ่งขีดความสามารถการทำงานของ

เบรกเกอร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าแอมป์ทริป (amp trip) ของเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นค่าขีดจำกัดการทำงานของเบรกเกอร์โดยพิจารณาจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเบรกเกอร์ นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติการทำงาน of เครื่องที่สามารถตรวจวัดและแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ หากค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเบรกเกอร์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าขีดความสามารถของเบรกเกอร์ ระบบก็จะแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ [14-15] เพื่อใช้ในการบริหารจัดการโหลดได้อย่างทันท่วงทีก่อนที่จะเบรกเกอร์นั้นทริป (automatic off) ด้วยฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเอง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังได้เสนอการพยากรณ์ความต้องการโหลดเพื่อใช้ในการจัดการพลังงานในบ้าน

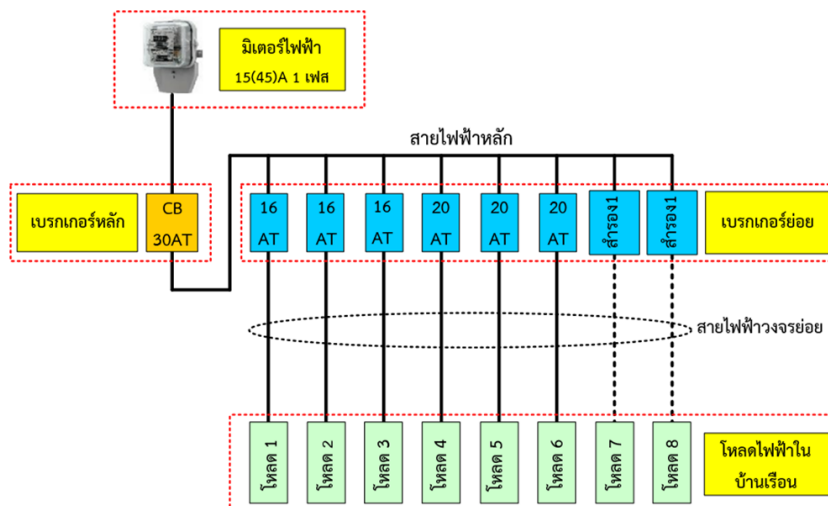
วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที
2. เพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานและสร้างความปลอดภัยด้านไฟฟ้าในบ้านเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบการทำงานของระบบ

การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์และควบคุมโหลดในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที เริ่มจากการศึกษารูปแบบวงจรหรือระบบไฟฟ้าบ้านเรือนซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือนแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบระบบไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไป

จากภาพที่ 1 รูปแบบวงจรระบบไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไปเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส (phase) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 220 Vac วงจรไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไปนั้นหลังจากมิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้าจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันหลัก (main circuit breaker: MCB) 1 อุปกรณ์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ป้องกันหลักระบบไฟฟ้าจะถูกระบายจ่าย

ไปยังโหลดย่อยต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละโหลดย่อยนั้นจะมีอุปกรณ์ป้องกันย่อย (sub-circuit breaker) เพื่อป้องกันไฟฟ้าเกินเฉพาะระบบย่อยนั้น ๆ เพื่อตัดแยกวงจรหากเกิดการใช้พลังงานเกินพิกัดหรือเกิดการลัดวงจรก่อนเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ป้องกันหลักทริปหรือตัดแยกวงจรหลักซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าทั้งระบบ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันหรือเบรกเกอร์จะมีค่าพิกัดกระแสอยู่ 3 พิกัดคือ

1) พิกัดการทนกระแสลัดวงจรสูงสุด (interrupting capacitive: IC)

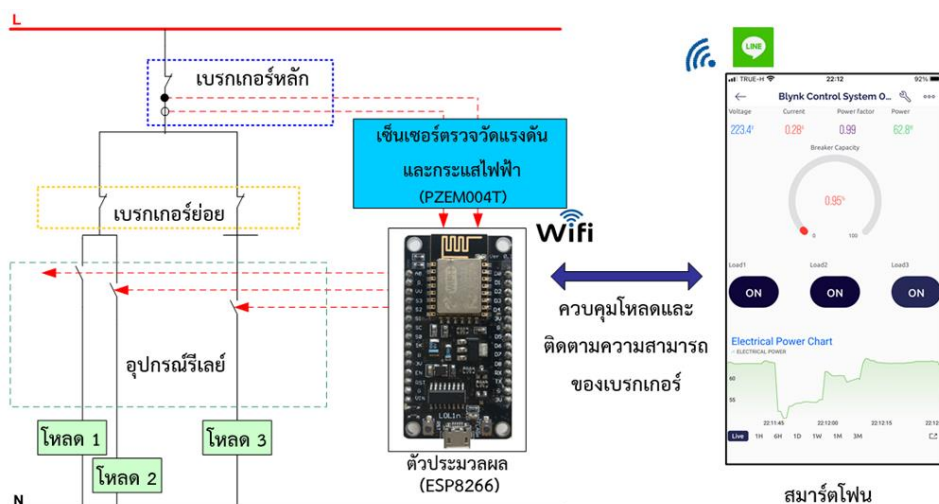
2) พิกัดขนาดกระแสที่ใช้งาน (amp trip: AT) ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าเบรกเกอร์ตัวนั้นสามารถทนต่อกระแสในภาวะปกติได้สูงสุดเท่าใด โดยค่าพิกัดของกระแสของเบรกเกอร์จะแสดงไว้ที่ป้ายของ Name Plate หรือที่ด้ามคันโยกของตัวเบรกเกอร์นั้น

3) พิกัดกระแสโครง (amp frame: AF)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เมื่อพิจารณาค่าพิกัดขนาดกระแสที่ใช้งานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์} = \frac{\text{ค่ากระแสไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านเบรกเกอร์}}{\text{ค่าพิกัดขนาดกระแสที่ใช้งานของเบรกเกอร์}} \times 100 \quad (1)$$

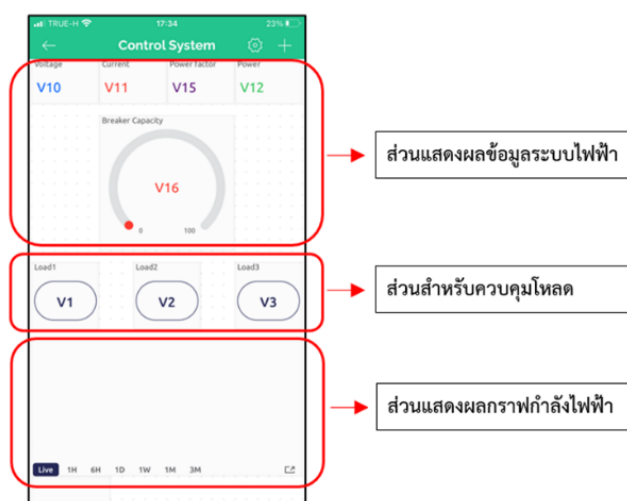
โดยในการออกแบบของเครื่องต้นแบบนี้ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานโหลดไฟฟ้าได้ 3 โหลด และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หลักการทำงานและตรวจวัดของต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

ภาพที่ 2 แสดงการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก โดยวงจรการทำงานระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าระยะไกลและเฝ้ามองขีดความสามารถของเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกแบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์โดยแสดงผลและควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน การทำงานในการตรวจวัดระบบไฟฟ้าของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบได้ออกแบบสำหรับควบคุมโหลดไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำสำหรับบ้านเรือน โดยใช้รีเลย์ ขนาด 10A 220AC เป็นชุดขับโหลด ซึ่งโหลดที่ควบคุมจะอยู่

ภายใต้เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย 2 ชุด ซึ่งทั้ง 3 โหลดนี้จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านมาจากเบรกเกอร์หลัก (main circuit breaker: MCB) และในส่วนของชุดเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์หลักในงานวิจัยนี้ได้ ออกแบบระบบแจ้งเตือนหากขีดความสามารถของเบรกเกอร์หลักเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าพิกัดเบรกเกอร์จะมีการส่งข้อความเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งค่าพิกัดในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงถึงค่าแอมป์ทรีปของเบรกเกอร์ซึ่งมีค่า 30A และการออกแบบการแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ตโฟนแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีรูปแบบหน้าจอสมาตโฟนประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแสดงผลข้อมูลระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และระดับภาระโหลดของเบรกเกอร์ ส่วนปุ่มคำสั่ง ON-OFF เพื่อใช้ในการควบคุม โหลด และส่วนกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าซึ่งทั้งสามส่วนนี้สามารถควบคุมและแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ ในการออกแบบระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอที โดยใช้อุปกรณ์ Node MCU /ESP8266 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อและสั่งการการทำงานผ่านระบบไวไฟ (wi-fi) โดยใช้แอปพลิเคชันบลูธในการออกแบบระบบควบคุมโหลดและเฝ้ามองผ่านสมาร์ตโฟน ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมโหลดไฟฟ้า และเฝ้ามองความสามารถของเซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านสมาร์ตโฟนได้ตลอดเวลาแบบเรียลไทม์ทุกครั้งที่สมาร์ตโฟนเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต งานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ PZEM-004T Module ในการตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3 หน้าจอระบบควบคุมและแสดงผลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าบนสมาร์ตโฟน

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

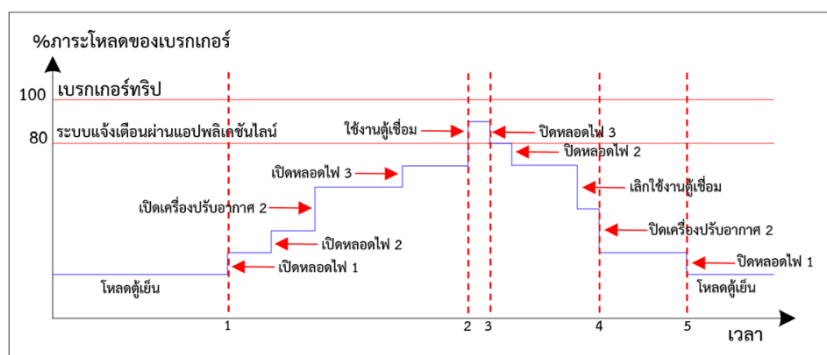
ในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าต้นแบบในงานวิจัยนี้พิจารณาความแม่นยำในการอ่านค่า ซึ่งได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่ใช้คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าโดยทดสอบและเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน โดยใช้มัลติมิเตอร์ UNI-T รุ่น UT33C+ และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ามาตรฐานโดยใช้มัลติมิเตอร์ LuZino รุ่น 7000728 เพื่อใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดสำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า โดยเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\text{ค่าความผิดพลาด (\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้นแบบ} - \text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน}}{\text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน}} \times 100$$

(2)

รูปแบบการจัดการด้านพลังงาน

รูปแบบการจัดการด้านพลังงานในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการจัดการด้านพลังงานโดยพิจารณาความสามารถหรือภาระโหลดของเบรกเกอร์ภายใต้การพิจารณาค่าแอมป์ทริป และการจัดการด้านพลังงานภายใต้การพยากรณ์ความสามารถเบรกเกอร์ตามปริมาณโหลดที่เปลี่ยนแปลง โดยรูปแบบการจัดการด้านพลังงานโดยพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์นั้นแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์และการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการด้านพลังงาน

จากภาพที่ 4 การพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์และการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการด้านพลังงาน โดยกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจากการใช้งานโหลดประเภทต่าง ๆ ในบ้านเรือน สำหรับภาระมองความสามารถของเบรกเกอร์นั้นระบบออกแบบให้มีการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลหากกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถของเบรกเกอร์ซึ่งพิจารณาจากค่าแอมป์ทริป เพื่อแจ้งให้ทราบว่ากระแสโหลดในบ้านตอนนี้สูงและหากเพิ่มขึ้นถึงระดับ 100 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เบรกเกอร์ทริปและทำให้เกิดไฟฟ้าดับในบ้านเรือน โดยภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงโหลดพื้นฐานในบ้าน โดยบ้านเรือนทั่วไปจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับตู้เย็นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นโหลดฐานในบ้าน โดยจะมีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วงค่าหนึ่งซึ่งเป็นสภาวะปกติของการใช้พลังงานในบ้าน จากนั้นที่ตำแหน่งจุดหนึ่ง (1) เริ่มมีการใช้โหลดเพิ่มโดยการเปิดหลอดไฟฟ้าที่ 1 เปิดหลอดไฟฟ้าที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดหลอดไฟฟ้าที่ 3 ทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาเป็นลำดับตามปริมาณโหลดที่ใช้ แต่ในช่วงที่จุด (2) มีการใช้ตู้เชื่อมจากงานซ่อมแซมในบ้านทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดเบรกเกอร์ ระบบตรวจจับก็จะส่งข้อความเตือนไปยังผู้ดูแลระบบเพื่อจัดการบริหารพลังงานภายในบ้าน เช่น ที่จุด (3) ปิดหลอดไฟที่ 3 และหลอดไฟที่ 2 เพื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าลง ซึ่งผู้ดูแลสามารถเฝ้ามองการเปลี่ยนแปลงได้แบบเรียลไทม์หลังจากงานเชื่อมเสร็จและผู้ดูแลปิดเครื่องปรับอากาศที่จุดที่ (4) เพื่อต้องการออกไปนอกบ้าน แต่ตรวจสอบการใช้พลังงานพบว่ากระแสไฟฟ้ายังสูงกว่าในสภาวะปกติ จึงทำการตรวจสอบพบว่ายังไม่ได้ปิดหลอดไฟที่ 1 และที่จุด (5) ปิดหลอดไฟที่ 1 ก่อนออกไปนอกบ้าน จากแผนภาพเป็นการประยุกต์ใช้งานด้านการประหยัดพลังงาน

ในบ้านเรือน และการพยากรณ์ปริมาณความต้องการโหลดเพื่อวางแผนจัดการด้านพลังงานและประเมินความสามารถของเบรกเกอร์นั้นใช้วิธีค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด (least squares) สำหรับสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น ดังสมการที่ 3

$$Y_j = a_0 + b_0 X_j \quad (3)$$

เมื่อ

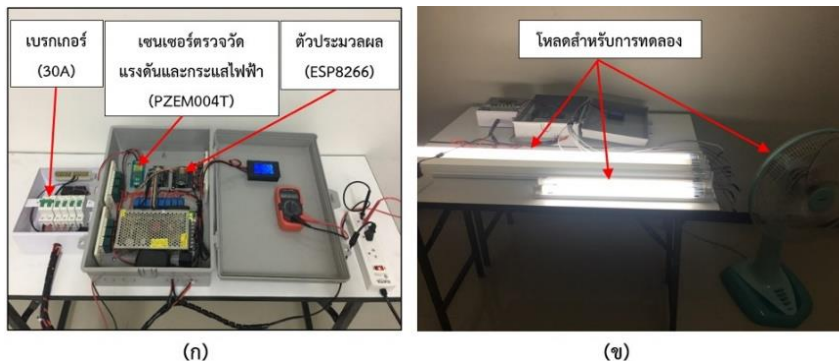
$$a_0 = \bar{Y} - b_0 \bar{X} \quad (4)$$

$$b_0 = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n(\bar{X})^2} \quad (5)$$

โดยที่ Y_j คือ ตัวแปรตามหรือค่าพยากรณ์, X_j คือ ตัวแปรอิสระ, a_0 คือ ค่าคงที่หรือจุดตัดบนแกน y , b_0 คือ ค่าความชัน (slope), X คือ ชุดข้อมูลของ X , Y คือ ชุดข้อมูลของ Y , n คือ จำนวนของชุดข้อมูลทั้งหมด $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ X , $\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ Y

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนากระบวนการควบคุมไฟฟ้าสำหรับบ้านอัจฉริยะโดยการควบคุมและแสดงผลบนสมาร์ตโฟน ซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในการตรวจวัด ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟน และผลการทดสอบการแจ้งเตือนหากเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เกินพิกัด โดยเครื่องต้นแบบแสดงดังภาพที่ 5 (ก) และการทดสอบการควบคุมโหลดแสดงดังภาพที่ 5 (ข)



ภาพที่ 5 (ก) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลด และ (ข) การทดสอบการสั่งการควบคุมโหลด

ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในการตรวจวัด

ผลการทดสอบการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการอ่านค่าและแสดงผล โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมาตรฐานซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ามัลติมิเตอร์ UNI-T รุ่น UT33C+ และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน มัลติมิเตอร์ LuZino รุ่น 7000728 โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลทดสอบการอ่านค่าเครื่องวัดบนหน้าจอสมาร์ตโฟน

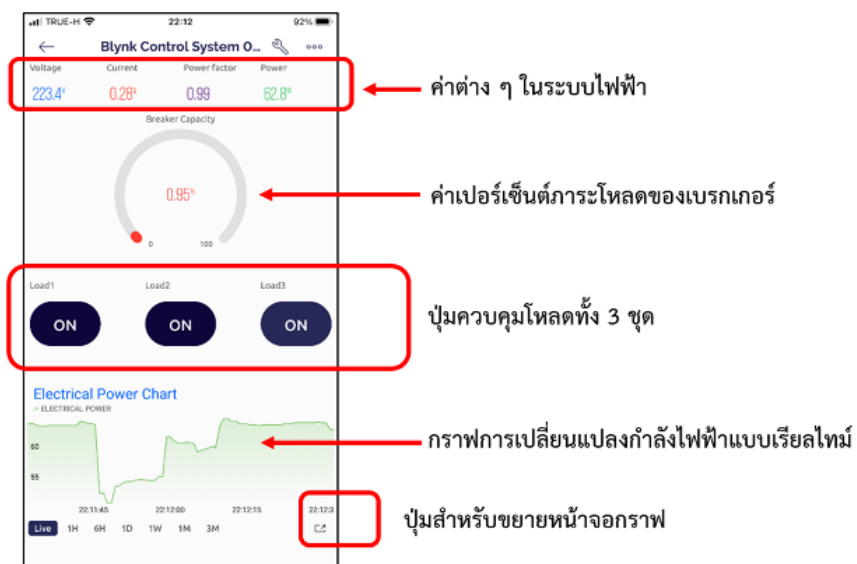
ปริมาณโหลด (W)	ค่าที่อ่านได้ จากมัลติมิเตอร์		ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด กำลังไฟฟ้าต้นแบบ		ค่าความผิดพลาด (%)	
	V	I	V	I	V	I
20	223	0.09	222	0.09	-0.45	0
40	222	0.18	220	0.18	-0.90	0
76	223	0.34	222	0.35	-0.45	2.94
112	224	0.49	223	0.50	-0.45	2.04
177	223	0.79	223	0.80	0	1.27
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ($\bar{X}$)					-0.45	1.25
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$)					0.32	1.29

หมายเหตุ: V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และ I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

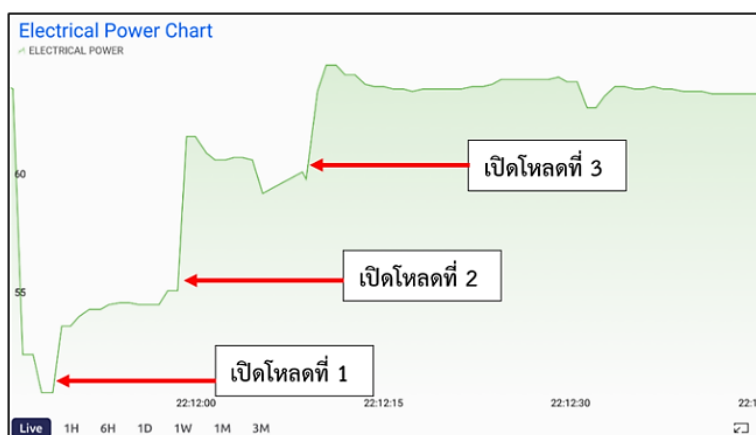
จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ผลการทดสอบได้เพิ่มปริมาณโหลดโดยได้กำหนดไว้ 5 ระดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้นแบบจะต่ำกว่าเครื่องวัดมาตรฐานโดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.32 และสำหรับเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้นแบบนี้จะอ่านได้สูงกว่าเครื่องวัดมาตรฐานโดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.29

ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดและติดตามกำลังไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน

ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดโดยเครื่องต้นแบบนี้ ออกแบบปุ่มสั่งการควบคุมการทำงานของโหลดไว้ 3 ช่อง และเบรกเกอร์หลักในการทดสอบนั้นมีค่าแอมป์ทริปอยู่ที่ 30 A ระดับแรงดัน 220 Vac โดยส่วนประกอบต่าง ๆ บนหน้าจอสมาร์ตโฟน นั้นสามารถแสดงดังภาพที่ 6 และจากการทดสอบการทำงานในการสั่งการ เปิด-ปิด โหลดผ่านทางหน้าจอสมาร์ตโฟน ทั้ง 3 ปุ่ม นั้นสามารถทำงานได้ดี ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังไฟฟ้าในภาพที่ 7 ที่พบว่าระบบสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ตามการสั่งการในการควบคุมโหลดไฟฟ้าซึ่งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้านี้ทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับภาพที่ 4 ดังนั้นหากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้พิกัดกระแสแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ผู้ดูแลระบบก็สามารถสั่งการปลดโหลดเพื่อป้องกันไม่ให้เบรกเกอร์ได้รับภาระโหลดเกินด้วยระบบสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ จึงทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบกับลักษณะรูปแบบการใช้พลังงานในสภาพปกติว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณเท่าใด หากพบว่าไม่ได้ปิดโหลดก็สามารถสั่งปิดโหลดผ่านสมาร์ตโฟนได้โดยตรงเพื่อประหยัดพลังงานตามหลักการจัดการด้านพลังงานโดยพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์ที่ได้อธิบายข้างต้น



ภาพที่ 6 หน้าจอเฝ้ามองระบบไฟฟ้าและระบบควบคุมโหลดบนสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าตามภาระโหลดที่เพิ่มขึ้น

ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์แสดงในตารางที่ 2 พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองสามารถนำมาสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อใช้พยากรณ์ปริมาณกำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ได้

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของโหลด (W) ที่ใช้และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

โหลด	1	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้า (X)	19.98	39.60	77.70	111.50	178.40
เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ (Y)	0.30	0.60	1.17	1.67	2.67

จากข้อมูลในตารางที่ 2 สามารถคำนวณและสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นได้โดยใช้สมการที่ 3, 4 และ 5 สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้แสดงดังสมการที่ 6 พบว่าค่าคงที่ a_0 หรือจุดตัดบนแกน y มีค่าน้อยมากซึ่งสามารถละทิ้งได้ ดังนั้นจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นใหม่ดังสมการที่ 7

$$Y_j = 0.0056 + 0.015X_j \quad (6)$$

$$Y_j = 0.015X_j \quad (7)$$

โดยที่ X_j คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้า, Y_j คือ เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

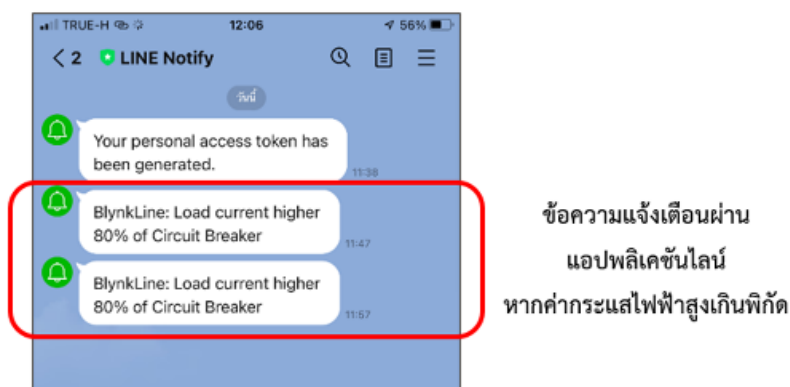
จากสมการที่ 7 เมื่อนำไปพยากรณ์เพื่อใช้วางแผนจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้านเรือนได้ผลการพยากรณ์ดังตารางที่ 3 โดยพบว่าหากโหลดเพิ่มขึ้น 400 W ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์จะอยู่ที่ 6 เปอร์เซ็นต์ และหากเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เพิ่มขึ้นเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโหลดจะอยู่ที่ 5,333.33 W และที่ค่าพิกัด 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณโหลดจะอยู่ที่ 6,666.66 W

ตารางที่ 3 การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของโหลด (W) และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

โหลด	6	7	8	9	10
กำลังไฟฟ้า (W)	200	300	400	5,333.33	6,666.66
เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ (%)	3	4.50	6	80	100

ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการส่งข้อความแจ้งเตือน

ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ในกรณีกระแสโหลดสูงเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแอมป์ทรีของเบรกเกอร์ ซึ่งในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่าระบบแจ้งเตือนทั้ง 10 ครั้ง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวอย่างข้อความการแจ้งเตือนแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างข้อความการแจ้งเตือนบนสมาร์ทโฟน ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบนี้ออกแบบให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านซึ่งได้ออกแบบไว้สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส บนสมาร์ทโฟน ด้วยเทคโนโลยีไอโอที ซึ่งประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ ซึ่งประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของเบรกเกอร์ ซึ่งเมื่อศึกษาการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ พบว่าการวิจัยเพื่อออกแบบระบบควบคุมโหลดสำหรับสมาร์ทโฮมโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีซึ่งได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เป็นตัวประมวลผล และยังได้ออกแบบให้สามารถส่งการควบคุมโหลดผ่านเว็บเพจ [7] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU /ESP8266 เป็นตัวประมวลผลและได้ออกแบบให้สามารถควบคุมโหลดบนมือถือได้โดยการประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ นอกจากนี้มีการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที ซึ่งได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) โดยการแสดงผลและแสดงผ่านหน้าเว็บเพจ ซึ่งประกอบด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า [8] แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์บนมือถือได้โดยประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์เช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่แสดงผลนั้นประกอบไปด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของเบรกเกอร์ มีงานวิจัยที่ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมและตรวจสอบสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) ว่าอยู่ในสถานะปิดวงจรหรือเปิดวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 ในการตรวจสอบและใช้สำหรับการตั้งค่าหรือรีเซ็ตเบรกเกอร์ เพื่อลดเวลาการค้นหาและแก้ไขจุดบกพร่องของระบบไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุดและใช้สำหรับปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาของเบรกเกอร์ เพิ่มอายุการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของเบรกเกอร์ โดยจะแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ [9] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้สามารถติดตามภาระโหลดของเบรกเกอร์แบบเรียลไทม์โดยพิจารณาจากค่าฟลักซ์แอมป์ทริปของเบรกเกอร์ เพื่อชี้ให้เห็นถึงภาระโหลดของเบรกเกอร์และความสามารถคงเหลือของเบรกเกอร์ในการรองรับโหลดก่อนที่จะเบรกเกอร์นั้นจะทริป โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีระบบแจ้งเตือนหากกรณีค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์นั้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าขีดจำกัดแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้ใช้งานเพื่อบริหารจัดการโหลดให้เหมาะสม โดยสามารถควบคุมโหลดผ่านสมาร์ทโฟนได้โดยตรงเพื่อปลดโหลดที่ไม่สำคัญในการป้องกัน

ไม่ให้เบรกเกอร์ได้รับการโหลดเกิน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมการควบคุมโหลดสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวประมวลผลและใช้เซนเซอร์ ADE7758 ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยการควบคุมจะติดตามและควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ [10] แต่งานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานพื้นฐานเหมือนกับ ESP32 แต่จะมีราคาที่ถูกกว่า โดยได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ PZEM-004T Module ในการตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยเฉพาะชุดตรวจวัดกระแสของ PZEM004T นั้นจะมีชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสาย (current clamp module) ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดโดยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ได้รับมาตรฐาน โดยผลการทดสอบพบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ -0.45 เปอร์เซ็นต์และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.32 และสำหรับ เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.25 เปอร์เซ็นต์และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.29 ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเชื่อมต่อและใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้มีความต้านทานแฝงในระบบทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด สำหรับระบบติดตามการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้านั้นพบว่าระบบสามารถติดตามค่ากำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ซึ่งจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและปริมาณการใช้พลังงานในสภาวะปกติหากพบว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติก็สามารถตรวจสอบและควบคุมโหลดผ่านสมาร์ตโฟน ได้โดยตรงเพื่อการประหยัดพลังงานในบ้านเรือน และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์สามารถนำไปพยากรณ์ปริมาณโหลดและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ได้เพื่อนำไปประยุกต์ในวางแผนการจัดการพลังงานและการป้องกันเพื่อสร้างความปลอดภัยในการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านเรือนต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้พัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์ด้วยเทคโนโลยีไอโอทีรวมถึงระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลูทูลี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานในบ้าน และสามารถนำข้อมูลจากการพยากรณ์ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดและค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ไปใช้วางแผนป้องกันการได้รับการโหลดเกินของเบรกเกอร์และใช้ในการวางแผนเพื่อออกแบบขนาดของเบรกเกอร์ให้เหมาะสมกับการใช้โหลดในบ้านเรือนต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษานี้ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ช่วยสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้คำปรึกษาพร้อมแนะนำในการทำงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Georgios, L., Kerstin, S., & Theofylaktos, A. (2019). Internet of things in the context of industry 4.0: An overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7, 4-20.
- [2] Akseer, A. M., Gustavo, V. H., Anshul, A., & Joseph, W. (2022). Key challenges and emerging technologies in industrial IoT architectures: A review. *Sensors*, 22, 1-31.
- [3] Abdellah, C., Alfred, Z., Rainer, S., & Yoshimasa, M. (2021). Theory and practice of implementing a successful enterprise IoT strategy in the industry 4.0 Era. *Procedia Computer Science*, 192, 4609-4618.
- [4] Leo, W., Santoso, Resmana, L., & Kevin, T. (2018). Smart home system using internet of things. *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, 16, 60-65.
- [5] Zaied, S., Ahmad, A., & Tri, K. P. (2019). Internet of things (IoT) of smart home: privacy and security. *International Journal of Computer Applications*, 182, 3-8.
- [6] Priyanka, T. (2019). A Review on implementation of IOT in smart home technologies, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6, 161-167.
- [7] Tejaswi, P., & Venkatapathi, P. (2020). IOT based smart home with load control. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 8, 876-881.
- [8] Arati, K., & Kulkarni, V. S. (2016). IOT based smart power metering. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6, 411-415.
- [9] Bhagwan, K., Durvankur, S., Dhananjay, B. & Bhushan, K. (2017). Internet of thing (I.O.T) base controlling & monitoring of circuit breaker. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 668-673.
- [10] Omar, M., Adolfo, R., Pedro, R., Alexis, A., Alejandro, S., & Fernando, L. (2022). Design and development of an IoT smart meter with load control for home energy management systems. *Sensors*, 22, 1-24.
- [11] Hussein, A. J., Hussein, A., Ahmed, A. W., & Malak, E. A. (2021). Mobile Based IoT Solution for Helping Visual Impairment Users. *Advances in Internet of Things*, 11, 141-152.
- [12] Giovanni, R., Paolo, D., & Filippo, C. (2017). Smartphone-based food diagnostic technologies: A Review. *Sensors*, 17, 1-22.
- [13] Lakshmi, M. J., Sameen, C. S., Maneesha D., Dharani, G., & Mubeena, K. F. (2022). Smart home using blynk app based on IOT. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 10, 341-345.
- [14] Weerathum, C., & Somchat, S. (2022). Applications of energy monitoring using the IoT. *SNRU Journal of Science and Technology*, 14, 1-9.
- [15] Narumon, W., & Chaisit, W. (2022). A real-time prototype of a water level monitor and wide area early flood warning. *SNRU Journal of Science and Technology*, 14, 19-24.