วารสารวิชาการ
อุตสาหกรรมศึกษา

URL : http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/issue/archive
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา (ISSN: 1905-9450)
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสเพื่อสังเกตการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

คมกริษณ์ ศรีพันธ์* และ มินตรา ตรงต่อการ

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

**Corresponding author e-mail: komkit.see@sru.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบพัฒนาและหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบสามเฟส ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบออนไลน์และแสดงผลที่หน้าเครื่องมือวัดจากโมดูล PZEM004TV3.0(100A) ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆแสดงผลบนกระดานแสดงผลบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และคำนวณค่าไฟฟ้า โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 รูปแบบ 1) ทดสอบหาประสิทธิภาพกับโหลดคงที่ 2) ทดสอบหาประสิทธิภาพกับโหลดมอเตอร์สามเฟส 3) ทดสอบวัดการใช้กำลังไฟฟ้าภายในอาคาร โดยทดลองเปรียบเทียบจากการวัดและบันทึกค่าด้วยเครื่องต้นแบบ PZEM004TV3.0(100A) เครื่อง PQA824 และ เครื่อง EPM 07S ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบทั้งสามเครื่องพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้า ระยะเวลา 8 ชั่วโมงเฉลี่ย 6.88 kWh โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 1.75% และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือทดสอบที่ 0.98 มีความแม่นยำในการวัดสูง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการวัดกำลังไฟฟ้าและการคำนวณค่าใช้จ่ายเป็นเงินบาทไทย ในการทดสอบด้วยโหลดมอเตอร์สามเฟสใช้พลังงานทั้งหมด 15.68 kWh และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 49.36 บาท และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าไฟฟ้าในระบบสามเฟสต่อเนื่องระยะเวลา 26 วัน ภายในอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมบันทึกค่าในช่วงที่บันทึก 297.97 kWh ค่าใช้จ่ายทั้งหมด 938.07 บาท

คำสำคัญ : เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ระบบไฟฟ้าสามเฟส

ข้อมูลบทความ : วันรับพิจารณา 20 กุมภาพันธ์ 2567 / วันแก้ไข 8 พฤษภาคม 2567 / วันตอบรับ 20 พฤษภาคม 2567 / วันตีพิมพ์ 26 กุมภาพันธ์ 2568

JOURNAL OF INDUSTRIAL EDUCATION

URL : http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/issue/archive

JOURNAL OF INDUSTRIAL EDUCATION (ISSN: 1905-9450)

FACULTY OF EDUCATION, SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY, Volume 18 No.2 July-December 2024

DESIGN AND DEVELOPMENT OF 3 PHASE ENERGY METERS FOR ENERGY MONITORING: CASE STUDY OF SURATTHANI RAJABHAT UNIVERSITY'S INDUSTRIAL TECHNOLOGY LABORATORY DEPARTMENT

Komkit Seepan* and Mintra Trongtorkarn

Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

**Corresponding author e-mail: komkit.see@sru.ac.th*

Abstract

The objective of this study is to design, develop, and evaluate the efficiency of a three-phase electrical energy metering device that can show results in an online format as well as on the instrument panel from the PZEM004TV3.0(100A) module processed by the Node MCU ESP8266 microcontroller. It shows numerous parameters on a display board, tracks power use, and calculates electricity costs. The studies are separated into three categories: 1) testing efficiency with constant loads, 2) testing efficiency with three-phase motor loads, and 3) testing power consumption within a building. The comparative studies were carried out by measuring and recording values using the PZEM004TV3.0 (100A) prototype device, PQA824 power analyzer, and EPM 07S power analyzer. The results of the experiments, when compared to all three devices, revealed that the average electrical energy consumption over an 8-hour period was 6.88 kWh, with an average error of no more than 1.75% and a correlation coefficient of 0.98, indicating high measurement accuracy. From results demonstrated that performance tests for measuring electrical power and computing costs in Thai Baht, while testing with three-phase motor loads, indicated total energy consumption of 15.68 kWh and a total cost of 49.36 Baht. Furthermore, measuring continuous three-phase electrical energy use within the building over 26 days period gave results of 297.97 kWh at a total cost of 938.07 Baht.

Keywords : Electric energy meter, Microcontroller, Three-phase electrical system

Article Info: Received; February 20, 2024 / Revised; May 8, 2024 / Accepted; May 20, 2024 / Published; February 26, 2025

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ดังนั้น การวิจัยด้านการวิเคราะห์และวัดค่าพลังงานภายในอาคาร รวมถึงการศึกษาการใช้พลังงานจึงถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ โดยในอดีตมีผู้ผลิตเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นรูปแบบอนาล็อกและพัฒนาจนถึงยุคที่ใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิทัล ซึ่งล้วนแล้วแสดงค่าด้วยวิธีการวัดและสังเกตการณ์ใช้พลังงานที่ต้องใช้คนในการอ่านค่าและบันทึกค่า วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจุบันเมื่อความก้าวหน้าของระบบอินเตอร์เน็ตทำให้เกิดระบบที่จะใช้ในการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคาร โดยรวมข้อมูลเพื่อติดตามแนวโน้มและประสิทธิภาพผ่านระบบอินเตอร์เน็ต (สันติภาพ กั้วพรหม, 2562) การวิจัยด้านการวิเคราะห์และวัดค่าพลังงานภายในอาคารนั้นมีประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน และช่วยส่งเสริมการพัฒนามาตรการและนโยบายที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย ปัจจุบันมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีการจัดการเรียนการสอนที่มีห้องเรียนและห้องปฏิบัติการจำนวนมากยังขาดเครื่องมือในการติดตามและสังเกตการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงาน แนวทางในการประเมินการใช้พลังงาน สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการประเมินการใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย กรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการวัดกำลังไฟฟ้าพร้อมการคำนวณค่าใช้จ่ายอ้างอิงตามข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ยงยุทธ นาสมสร้อย, 2563)

จากข้อมูลข้างต้นการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อความก้าวหน้าเทคโนโลยีที่ช่วยให้ค่าพลังงานมีการแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) โดยมีรายงานวิจัยด้านการพัฒนาอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์จำพวก NodeMCU ในการแสดงผล สื่อสาร หรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต และสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ (สารัช มหัสสา, 2565 ;Andrianto, et.al , 2023; Moorthy, et.al, 2023; Selvan, et.al, 2023) การพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานมิเตอร์ไฟฟ้าให้สามารถสั่งงานและควบคุมการทำงานผ่านแอพพลิเคชั่นโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าผ่านทางแอพพลิเคชั่นได้ (เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ, 2565) ปัจจุบันมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ยังไม่มีเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีของเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งซึ่งมีความจำเป็นต่อการพัฒนาด้านการจัดการระบบพลังงานภายในองกรค์

จากการสำรวจและประมาณราคาของกองอาคารสถานที่ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ดูแลระบบอาคารและการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องมือวัดพลังงานภายในอาคารยังมีราคาสูงและปัจจุบันยังไม่มีติดตั้งภายในอาคารปฏิบัติการการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีความสนใจออกแบบ พัฒนาและสร้างเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าโดยนำร่องทดสอบ ภายในชั้น 2 อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าและอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดที่สามารถหาซื้อและพัฒนาได้ง่าย เพื่อเปรียบเทียบระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ในท้องตลาด และคำนวณอัตราการใช้ไฟแสดงผลบนกระดานแสดงผลออนไลน์ทำให้การใช้งานสะดวกสบายยิ่งขึ้น (เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ, 2565) มีความคาดหวังว่าผลงานวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทั้งในหน่วยงานภาครัฐและเอกชนหรือนักวิจัยสามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้ในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาโมดูลเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยกระดานแสดงผลระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของความแม่นยำของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

3. เพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าคำนวณยอดเงินจากการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ในหน่วยสกุลเงินบาทไทย

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีต้นทุนต่ำเพื่อใช้ในการประเมินการใช้กำลังไฟฟ้าในองค์กร อีกทั้งยังสามารถใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ระยะยาว (long term monitoring) เพื่อสนับสนุนนโยบายด้านการประหยัดพลังงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีในอนาคต ดังนี้

1. การพัฒนาเครื่องมือวัดและอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียวหรือระบบไฟฟ้าสามเฟสนั้น เป็นเรื่องที่องค์กร หน่วยงาน และสถานประกอบการจำเป็นต้องตระหนักเนื่องจากกำลังไฟฟ้าเป็นต้นทุนสู่การกำหนดผลจากการประกอบการหรือการใช้งานทั้งสิ้น ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ฐานคิดจากงานวิจัยนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญโดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีเพื่อให้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น ความปลอดภัย ความแม่นยำและความสะดวกใช้งาน ทำให้เกิดแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ต้นทุนต่ำที่มีประสิทธิภาพ

2. การพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่พัฒนาจาก NodeMCU ESP8266 ร่วมกับโมดูล PZEM004TV3.0(100A) สามารถแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี 20x4 เพื่อแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆในระบบไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าและยอดค่าใช้จ่ายต่อเดือน ในระบบออฟไลน์และเชื่อมต่อบนกระดานแสดงผลออนไลน์ผ่าน Blynk 2.0 platform เป็นแนวทางพื้นฐานสำหรับการส่งเสริมนโยบายการลดพลังงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้ คือ เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบสามเฟสในท้องตลาด จำนวน 2 เครื่อง และพัฒนาจาก NodeMCU ESP8266 ร่วมกับโมดูล PZEM004TV3.0(100A) จำนวน 1 เครื่อง ที่สามารถแสดงผลการวัดที่ตัวเครื่องผ่านจอแอลซีดี 20x4 และกระดานแสดงผลระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยคำนวณค่าไฟฟ้าเป็นสกุลเงินบาทไทยโดยอ้างอิงการคำนวณค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า 1.1 สืบเนื่องจากการติดตั้งเครื่องมือวัดที่พัฒนาร่วมกับ PZEM004TV3.0(100A) นั้นจะรับแรงดันสายเทียบกับนิวทรัล ดังนั้น ในการติดตั้งเพื่อวัดพลังงานจะทำการบันทึกค่าพลังงานเทียบเคียงกับการวัดในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว ซึ่งโดยนิยาม ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า 1.1 หมายถึง ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้า ประเภทที่ 1.1.1 แต่หากใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อใดมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย ติดต่อกัน 3 เดือน (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,2566) และทดสอบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากตู้ควบคุม ชั้น 2 สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำนวน 5 ห้อง อาคารปฏิบัติการการจัดการเทคโนโนยีการจัดการอุตสาหกรรม

ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการใช้พลังงานของอาคารในระยะเวลาทำวิจัยจำนวน 3 เดือนโดยเน้นด้านการศึกษาและพัฒนาทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ด้านวัดค่าพลังงานไฟฟ้า การสื่อสารแบบอนุกรม การเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ใช้ระยะเวลา 2 เดือน และการใช้งานเพื่อเฝ้าติดตามพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าภายในอาคารทั้งการออฟไลน์แสดงค่าบนหน้าจอของเครื่องและแบบออนไลน์ผ่านครือข่ายทั้งในคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาความถูกต้องแม่นยำโดยศึกษาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดด้านพลังงานไฟฟ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทดสอบกับโหลดทราบค่าและทดสอบโหลดในอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม ชั้น 2 ซึ่งเป็นที่ตั้งของหลักสูตรเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม เพื่อวัดค่าไฟฟ้าจากการใช้งานจริง

โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ครั้ง ทดสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง วันจันทร์ถึงศุกร์ ภายในเวลาราชการ ระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ ตู้ควบควบคุมระบบไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ตู้ควบคุมชั้น 2 อาคารปฏิบัติการการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ระยะเวลาการดำเนินการ

การวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการในช่วงเดือนตุลาคม 2566 ถึง เดือนธันวาคม 2566 ระยะเวลารวม 3 เดือน

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้นในงานวิจัยนี้ คือ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม ตัวแปรตาม คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยกิโลวัตต์และค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย ตัวแปรอิสระ คือ การเปิดใช้งานห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสามารถควบคุมหรือปรับเปลี่ยนได้ในการวิจัย

การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลในการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ โดยกำหนดแนวคิดของการศึกษาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจากการทดสอบปริมาณการใช้พลังงาน เพื่อวัดค่าพลังงานของโหลดคงที่สำหรับทดสอบระบบ โหลดมอเตอร์สามเฟส และโหลดในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าอุตสาหกรรม ชั้น 2 อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม ดังนี้

1) การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า (ณัฐภัทร อภิรัชภิญโญ และ สมบูรณ์ ชาวชายโขง, 2565) โดยการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการลดการใช้พลังงานไม่จำเป็น ตัวแปรที่ต้องศึกษาสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าได้แก่ การวัดแรงดัน (Voltage) และกระแส (Current) เพื่อติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลาจริงและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร การวัดกำลัง (Power) และพลังงาน (Energy) เพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่ใช้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นการวัดความถี่ (Frequency) เพื่อตรวจสอบความเสถียรของระบบไฟฟ้า (Bedi, et.al, 2016; Moorthy, et.al, 2023; Selvan, et.al, 2023) การบันทึกข้อมูล (Data Logging) เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อการวิเคราะห์และรายงาน การสังเกตการณ์ (Monitoring) เพื่อสังเกตการณ์และติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารและสรุปข้อมูลจัดทำแผนการจัดการพลังงานในอนาคต (Moorthy, et.al, 2023) การคำนวณค่าใช้จ่าย (Cost Calculations) เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าและวางแผนการจัดการทรัพยากรไฟฟ้าให้เหมาะสม รายละเอียดของตัวแปรเหล่านี้จะช่วยให้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อความต้องการของอาคารและผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสม

2) การใช้โมดูลวัดกำลังไฟฟ้าด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งนั้นได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะด้านการใช้งานวัดวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น เครื่องจักรอุตสาหกรรม (Moorthy, et.al, 2023) การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับระบบควบคุมไฟถนนอัตโนมัติ (เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ, 2565) ซึ่งนิยมใช้ Node MCU ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวัดค่าและการสื่อสาร เช่น ESP8266 และ ESP32 ซึ่งสามารถใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี

ต่าง ๆ ในการพัฒนาได้ง่าย เช่น Wireless fidelity (WIFI) 4TH Gerneration Long Term Evolution (4G LTE) Long Range Radio (LoRa) และ Narrowband Internet of Things (NB-IoT) ในประเทศไทยนิยมใช้จากผู้ให้บริการของ AIS และ True สำหรับควบคุมและมอนิเตอร์ผ่านระบบคลาวด์เว็บไซต์ (เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ, 2565) นอกจากนี้แล้วยังมีโปรโตคอลที่การประยุกต์ใช้งานการสื่อสารระยะไกลด้วยโปรโตคอล MQTT โดยกำลังนิยมในการพัฒนาสำหรับส่งข้อมูลด้วยแอพพลิเคชั่นบนมือถือหรือคอมพิวเตอร์ (สารัช มหัสสา, 2565) ดังนั้นการออกแบบเครื่องมือตรวจวัดและควบคุมพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ที่ใช้แนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งยังประสบความสำเร็จในการตรวจวัดและควบคุมพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk ในเวลาจริง จากผลการทดสอบเปรียบเทียบที่ได้จากตัวแปรดังนี้ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่ ตัวประกอบกำลัง พลังงานไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า ค่าความผิดพลาด (Andrianto, et.al, 2023; Bedi, et.al, 2016; Gopika และ George, 2021; Hantoro และ Setiawidayat, 2023; Moorthy, et.al, 2023) การทดสอบและตรวจสอบข้อมูลของโหลดสามเฟส โดยวิธีดำเนินการวัดค่าพารามิเตอร์ของแรงดัน กระแส กำลัง พลังงาน และความถี่สำหรับแต่ละเฟส วิธีการบันทึกข้อมูล ด้วยโมดูล PZEM-004T เกณฑ์การวัดแสดงอัตราความผิดพลาดที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02% (Hantoro และ Setiawidayat, 2023)และการคำนวณค่าใช้จ่ายโดยใช้แพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น Blynk Cloud ThingSpeak และพัฒนากระดานแสดงบนสมาร์ทโฟนบนแพลตฟอร์มอื่นๆ (Gopika & George, 2021) โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์สำหรับพัฒนาเครื่องมือวัด พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 สื่อสารผ่าน WIFI และแสดงผลผ่าน Blynk Cloud

3) หลักการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามแนวทางของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

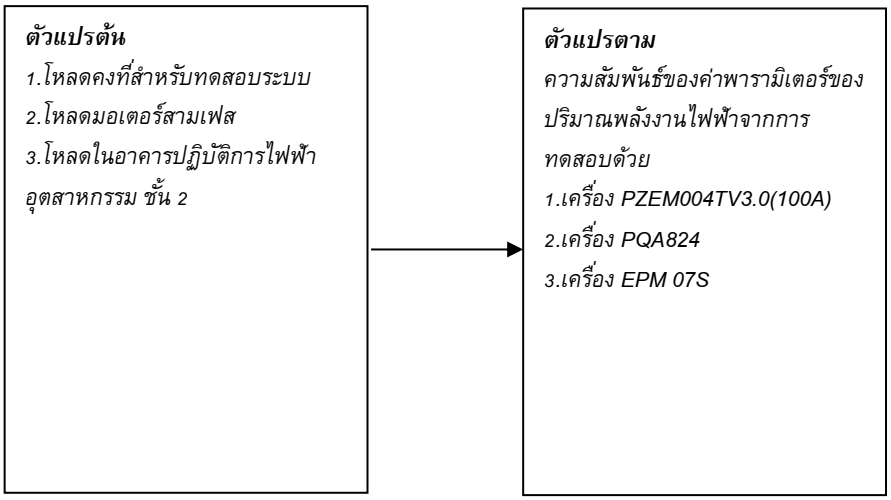
โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าค่าไฟฟ้าที่ปรากฏอยู่ในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน ประกอบด้วย 1. ค่าพลังงานไฟฟ้า คิดตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ที่ใช้ในแต่ละเดือน ตามประเภทของ อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ 2. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (demand charge) คิดจากความต้องการพลังไฟฟ้า (kW) เฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุดของช่วงเวลาในแต่ละเดือน ตามประเภทของอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า กิจการขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และเฉพาะอย่าง 4. ค่าบริการรายเดือน 5.ค่าไฟฟ้าผันแปร Ft (fuel adjustment charge) เป็นการปรับค่าไฟฟ้าตามราคาเชื้อเพลิง การจัดส่ง ต้นทุนการผลิต โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานไฟฟ้ามหาวิทยาลัยขอนแก่น กองจัดการสาธารณูปโภค พลังงานและสิ่งแวดล้อม ปีงบประมาณ 2561-2562 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง และค่าไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ การเปลี่ยนแปลงของ อัตราเงินเฟ้อ และการเปลี่ยนแปลงของความต้องการไฟฟ้า (ยงยุทธ นาสมสร้อย, 2563; ไกรวิทย์ ชูชาติ, 2565) และสอดคล้องการการคำนวณของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2566) โดยคำนวณจากสมการที่ 1

$$C = (D + O_1 + O_2 + S + PF + FT) \times (VT)) \quad \text{.....(1)}$$

โดย C คือ ค่าไฟฟ้า
D คือ ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด
O_1 คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า On Peak
O_2 คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า Off Peak
S คือ ค่าบริการ
PF คือ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์
FT คือ ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)
VT คือค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)

กรอบแนวคิดในการวิจัย

แสดงภาพประกอบกรอบแนวคิด ที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาจากโมดูล PZEM004TV3.0(100A) ขึ้นให้ผลการตรวจวัดที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับเครื่อง PQA824 และเครื่อง EPM 07S ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จะส่งผลให้เกิดนวัตกรรมต้นทุนต่ำเพื่อวัดกำลังไฟฟ้าภายในอาคาร ที่สามารถประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีค่าความความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.3% เมื่อเทียบกับเครื่อง PQA824 สามารถใช้ในการบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารได้จริงในอนาคต

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าตามขั้นตอน ดังนี้

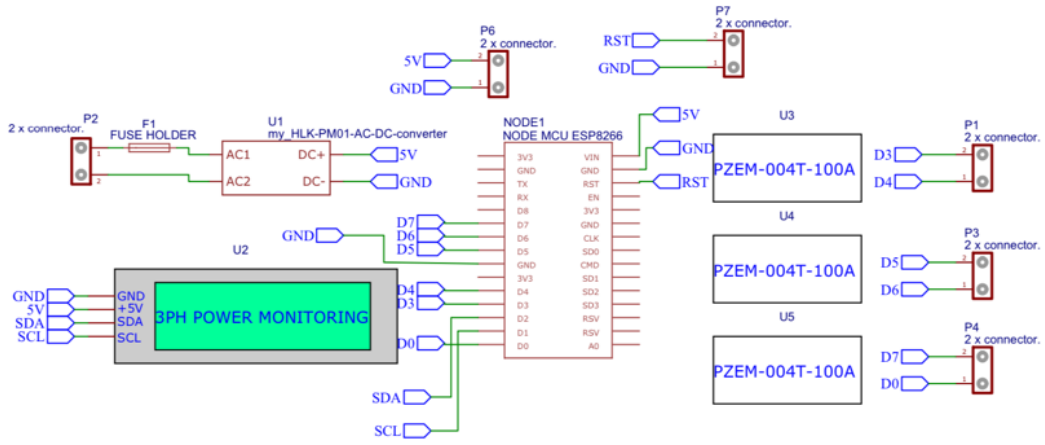
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยแบ่งการศึกษา เป็น 4 ส่วนดังนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร คุณสมบัติของโมดูลวัด PZEM004TV3.0(100A) การประมวณผลจากการวัดและการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย NodeMCU ESP8266 วิธีคำนวณค่าพลังงานเพื่อแปลงเป็นค่าเงินในหน่วยบาทไทย

พัฒนาระบบการจัดการ พลังงานไฟฟ้า โดยศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการระบบการจัดการพลังงาน ไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยนำเอาเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาประยุกต์ใช้จัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารศรีโคตรบูรณ์ โดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อทำให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และแสดงสถานะ การทำงาน ณ ปัจจุบันหรือย้อนหลังได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น การวัดค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้า การเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์เซ็นเซอร์ด้วยการตรวจจับการเคลื่อนไหวทางกายภาพ เพื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า (ณัฐภัทร อภิรัชภิญโญ และ สมบูรณ์ ชาวชายโขง,2565) คุณสบัติของโมดูลวัด PZEM004TV3.0(100A) โดยคุณสมบัติตามรุ่นเป็นโมดูลวัดที่สามารถวัดค่าแรงดัน (V_{AC}) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 80 - 260 V_{rms} ความละเอียด 0.1 V และ ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดกระแสไฟฟ้า (I_{AC}) ย่านกระแส 0 - 100 A ความละเอียดในการวัด 0.001 A และ ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง 0 - 23 กิโลวัตต์ ความละเอียดในการวัด 0.1 วัตต์ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) วัดค่าได้ในย่าน 0 - 1 ความละเอียด

0.01 และความแม่นยำ 1 เปอร์เซ็นต์ วัดค่าความถี่ในช่วงความถี่ 45 ถึง 65 เฮิรตซ์วัดพลังงานได้ตั้งแต่ 0 ถึง 9,999.99 กิโลวัตต์ชั่วโมง ความละเอียด 0.1 กิโลวัตต์ชั่วโมง รองรับการเชื่อมต่อทั้งแบบอนุกรมและเชื่อมต่อข้อมูลแบบ RS485 การประมวณผลจากการวัดและการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย NodeMCU ESP8266 ใช้การสื่อสารด้วยพอร์ตอนุกรม

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาเครื่องมือเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

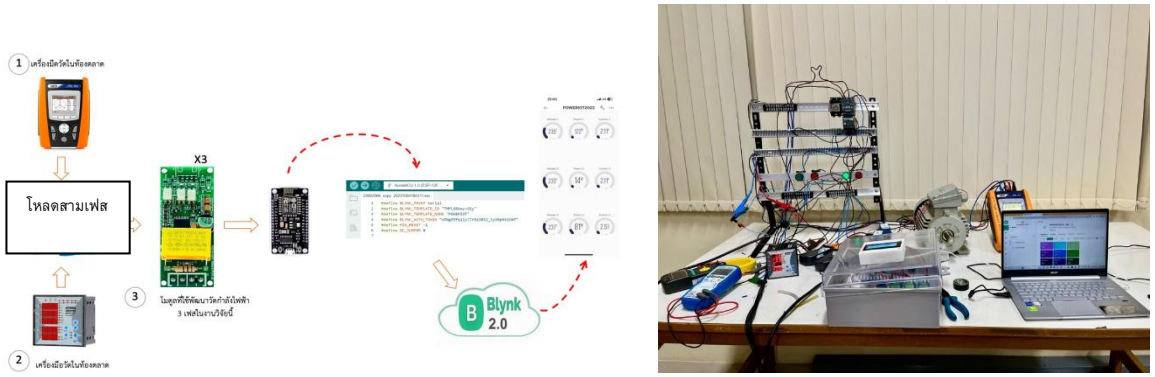
ขั้นตอนการพัฒนาฮาร์ดแวร์เพื่อใช้ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายชนิดสมดุลเพื่อรองรับย่านวัดของโมดูล PZEM004TV3.0(100A) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 โดยระบบประกอบด้วย ESP8266 จำนวน 1 ตัว โมดูล PZEM004TV3.0(100A) จำนวน 3 ตัว สำหรับอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าในโหลด 3 เฟส มีจอแสดงผลติดกับตัวเครื่องวสำหรับแสดงผลการวัด ใช้จอแอลซีดี 20x4 เชื่อมต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน I2C และ แปลงสัญญาณไฟเลี้ยงด้วย HLK-PM01 AC-DC Converter ด้วยซอฟต์แวร์จำลองวงจรและทำแผ่นจงจรพิมพ์ด้วย EasyEDA โดยต้นทุนค่าพัฒนาฮาร์ดแวร์ 2,500 บาท ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบ 2 การออกแบบวงจรเครื่องมือวัดโดยพัฒนาจากโมดูล PZEM004TV3.0(100A) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 เป็นตัวประมวลผลหลัก

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาซอฟแวร์เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการวัดกำลังไฟฟ้าภายในอาคาร โดยระบบการทำงานเริ่มต้นจาก การตั้งค่า ESP8266 เพื่อกำหนดอินพุตและเอาพุต โดยมีการ กำหนดค่าเริ่มต้นการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม การกำหนดค่าเริ่มต้นให้ Blynk cloud ด้วยโทเค็นการตรวจสอบและ SSID และรหัสผ่าน หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าเริ่มต้น จอแอลซีดี, PZEM004TV3.0(100A) เพื่ออ่านค่าเริ่มต้นสำหรับแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า พลังงาน ความถี่ พาวเวอร์แฟคเตอร์ และฟังก์ชันพลังงานสำหรับแต่ละเฟส โดยซอร์ฟแวร์จะทำการเรียกใช้ บริการของ Blynk cloud และเรียกใช้ฟังก์ชัน powermonitor เพื่ออ่านค่าพารามิเตอร์ของโมดูล PZEM004TV3.0(100A) หลังจากนั้นก็ทำการเรียกใช้เรียกใช้ฟังก์ชันแสดงผลบนกระดานแสดงผลออนไลน์ เพื่อส่งค่าไปที่ Blynk cloud และเรียกใช้ฟังก์ชัน displayValue เพื่อทำการแสดงผลผลหน้าจอแอลซีดี 20x4 ตามลำดับ โดยมีฟังก์ชัน powermonitor เพื่อตรวจสอบว่าเวลาที่จะอ่านข้อมูลจากตัวควบคุมพลังงานหรือไม่ ถ้ามีให้ อ่านแรงดัน กระแส กำลัง พลังงาน ความถี่ พาวเวอร์แฟคเตอร์ และฟังก์ชันพลังงานสำหรับแต่ละเฟส คำนวณพลังงานทั้งหมดที่ใช้โดยการรวมค่าพลังงานของทุกเฟส กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าโดยพิจารณาการใช้พลังงาน คำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม พิมพ์ค่าไปยังซีเรียลมอนิเตอร์ และสร้างปุ่มปุ่มอัปเดตเสมือนไว้ในกระดานแสดงผล สำหรับการวัดพลังงานและค่าใช้จ่ายทั้งหมด สำหรับการออกแบบฟังก์ชันแสดงผลบนกระดานแสดงผลออนไลน์ มีการตรวจสอบว่าเวลาที่จะส่งข้อมูลไปยัง Blynk cloud หรือไม่ ส่งข้อมูลแรงดัน กระแส กำลัง พลังงาน ความถี่ พาวเวอร์แฟคเตอร์ และคำนวณค่าใช้จ่ายในหน่วยเงินสกุลบาทไทย โดยใช้ตารางคำนวณจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และส่งค่าไปยังพินเสมือนบนกระดานแสดงผลของ Blynk Cloud

สำหรับฟังก์ชันแสดงผลบนจอจอแสดงผลแอลซีดี สามารถตรวจสอบว่าเวลาที่จะอัปเดตการแสดงผลบนจอแสดงผลแอลซีดี และแสดงโหมดการทำงาน ดังนี้ แสดงโหมด 1) แรงดัน 3 เฟส แสดงโหมด 2) กระแส 3 เฟส แสดงโหมด 3) กำลัง 3 เฟส แสดงโหมด 4) พลังงานที่ใช้ทั้งหมดในหน่วย kWh โหมด 5) แสดงความถี่โหมด 6) แสดงพาวเวอร์แฟคเตอร์ แสดงโหมด 7) ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในหน่วยเงินบาทไทย ตามลำดับ



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3 3(ก) แผนผังวงจรสำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆในการวัดกำลังไฟฟ้า 3(ข) การทดสอบระบบการวัดกำลังไฟฟ้า

หลักการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยอ้างอิงโครงสร้างการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยศึกษาจากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นไปดังสมการที่ 1 แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน คือผลรวมจากค่าไฟฟ้าที่ใช้งานจริงกับค่าบริการ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ประมวลผลค่าพลังงานจากโมดูล PZEM004TV3(100A) ทั้ง 3 โมดูล ดังสมการที่ 2

Total_energy = pzem1.energy()+pzem2.energy()+pzem3.energy (2)

โดย pzem1.energy() คือ ค่าพลังงานของเฟสที่1

pzem2.energy() คือ ค่าพลังงานของเฟสที่2

pzem3.energy() คือ ค่าพลังงานของเฟสที่3

ใช้การคำนวณอย่างง่ายจากการกำหนดเงื่อนไขการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ในการทดสอบเพื่ออ่านค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับคิดค่าไฟฟ้าในสกุลเงินบาทไทย การใช้งานตามหน่วยการใช้งานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดค่าประมาณการ ดังนี้ที่ 0-150 หน่วย และมากกว่า 150 หน่วย มีอัตราค่าบริการที่ 8.19 บาท ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ 4.77 บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,2566) ด้วยเงื่อนไขดังนี้

```
if (Total_energy > 0 && Total_energy <= 150)
{ rate_1 = (Total_energy * 4.77)    }
 if (Total_energy > 150)
{ rate_1 = 150 * 4.77;}
```

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) คือผลคูณของจำนวนพลังงานไฟฟ้า และค่า Ft ที่ 20.48 สตางค์ต่อหน่วย ณ ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2566 (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,2566) โดยกำหนดการคำนวณไว้ ดังสมการที่ 3

Ft = Total_energy *(0.2048) (3)

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% สามารถสร้างการคำนวณในเงื่อนไขการคิดค่าใช้จ่ายด้วย ESP8266 ดังสมการ (4) และ (5)

Total_vat = ((rate_1 + Ft) *0.07) (4)

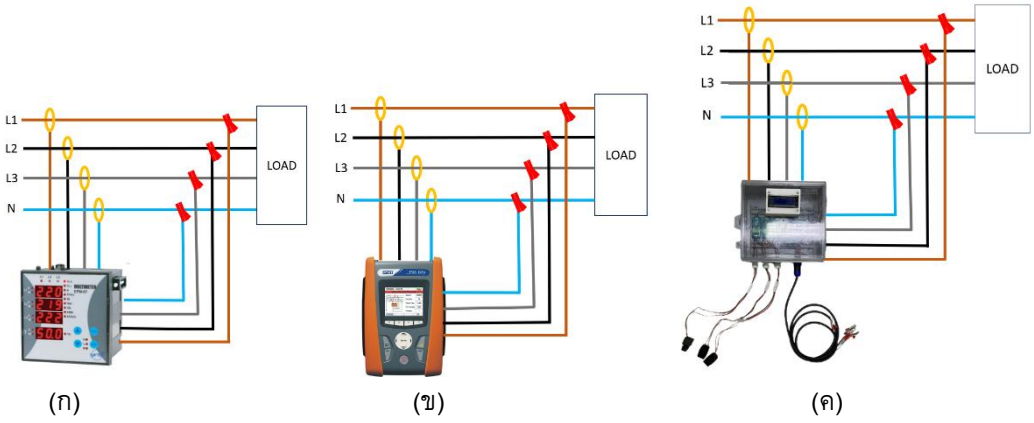
Cost=rate_1+Total_vat) (5)

โดย Total_vat คือ ค่าผลรวมเมื่อคิดค่าภาษีมูลค่าเพิ่มที่ 7%

Cost คือ ผลรวมทั้งหมดจากการใช้พลังงานในแต่ละรอบการวัดซึ่งออกแบบปุ่มสำหรับรีเซตค่าใช้จ่าย

ขั้นตอนที่ 4 การหาประสิทธิภาพเครื่องมือ

การหาประสิทธิภาพเครื่องมือภายใต้เงื่อนไขการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ดังภาพประกอบที่ 4



(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบ 4 การเตรียมเครื่องมือวัดสำหรับทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟส ด้วย 4(ก) เครื่อง PQA824 4(ข) เครื่อง EPM 07S 4(ค) เครื่องต้นแบบ PZEM004TV3.0(100A)

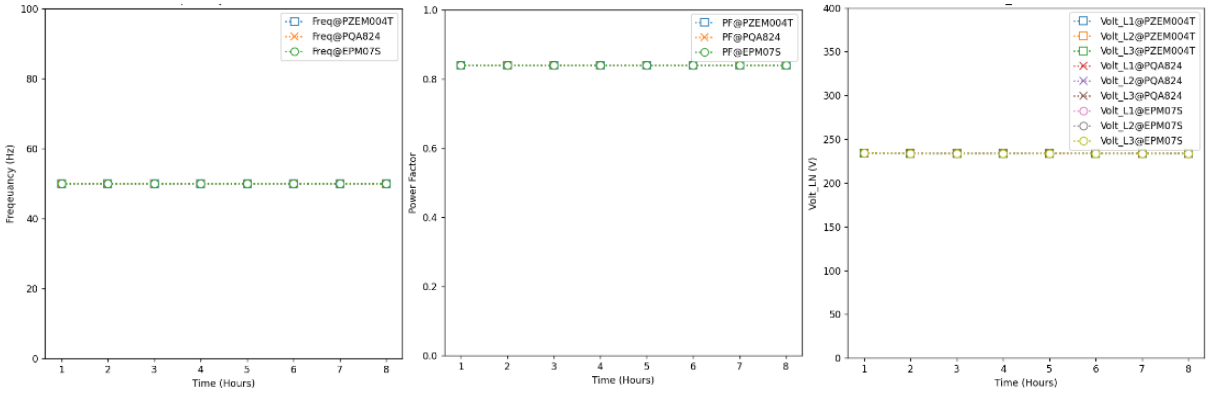
ขั้นตอนที่ 5 การดำเนินการทดลอง ทำการทดลองเพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจากการทดสอบด้วย1) เครื่องต้นแบบพัฒนาจากโมดูล PZEM004TV3.0(100A) 2) เครื่อง PQA824 และ 3) เครื่อง EPM 07S โดยบันทึกค่าจาก ทดสอบกับ 1) โหลดคงที่ 500 W สำหรับทดสอบระบบดังนี้ แรงดัน, กระแส, กำลัง, พลังงาน, ความถี่, พาวเวอร์แฟคเตอร์ และค่าใช้จ่ายรวมภาษีมูลค่าเพิ่มในสกุลเงินบาทไทย โดยทำการวัด 8 ชั่วโมง 2) โหลดมอเตอร์สามเฟสขนาด 2.2 kW สำหรับทดสอบระบบ ดังนี้ กำลัง, พลังงาน, พาวเวอร์แฟคเตอร์ และค่าใช้จ่ายรวมภาษีมูลค่าเพิ่มในสกุลเงินบาทไทย โดยทำการวัด 8 ชั่วโมง 3) โหลดในอาคารปฏิบัติการไฟฟ้าอุตสาหกรรม ชั้น 2 เพื่อวัดค่าไฟฟ้าจากการใช้งานจริง ดังนี้ พลังงานและรวมภาษีมูลค่าเพิ่มในสกุลเงินบาท โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ครั้ง ทดสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง สัปดาห์ละ 8 ชั่วโมง วันจันทร์ถึงศุกร์ ภายในเวลาราชการ ระยะเวลา 1 เดือน บันทึกผลผ่านกระดานแสดงผลออนไลน์

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์และประเมินผล บันทึกผลการเปรียบเทียบของทั้ง 3 เครื่องมือและหาเฉลี่ยจากจากการทดลอง โดยบันทึกข้อมูลที่ของแรงดัน (Voltage), กระแส (Current), กำลัง (Power), พลังงาน (Energy), ความถี่ (Frequency), พาวเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor), และค่าใช้จ่ายรวมภาษีมูลค่าเพิ่มในสกุลเงินบาทไทย (Total Cost) ทำการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์จากข้อมูลและค่าความผิดพลาดจากการวัดของแต่ละเครื่องเปรียบเทียบกันสำหรับใช้ประเมินความแม่นยำและความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด

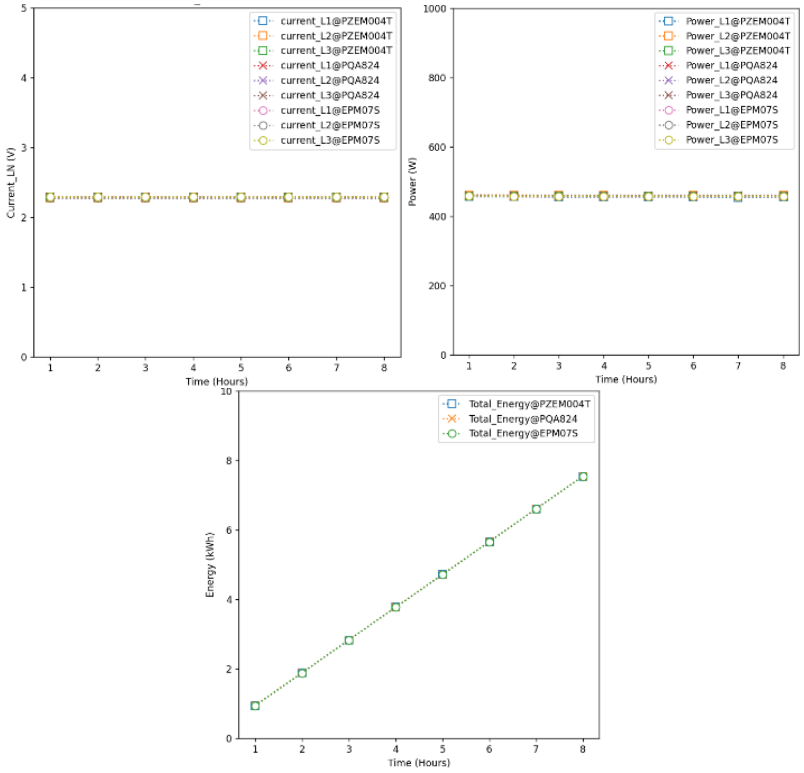
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเมื่อทดสอบกับ 1) โหลดคงที่ 500 W สำหรับทดสอบระบบในภาพประกอบที่ 5 โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เมื่อทำการวัดและเปรียบเทียบค่าในแต่ละเครื่องมือทดสอบโดยเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง ภาพประกอบที่ 5(ก) ผลการวัด power factor เฉลี่ย 0.85 5(ข) ผลการวัดความถี่เฉลี่ย 50 Hz 5(ค) ผลการวัดแรงดัน

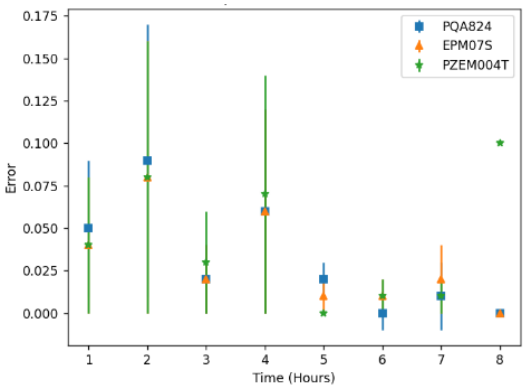
เฉลี่ยสามเฟสเทียบนิวทรัล 230.5 V 5(ง) ผลการวัดกระแสเฉลี่ยของทั้งสามเฟส 2.29 A 5(จ) ผลการวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 449.70 W โดย 5(ฉ) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าเมื่อทดสอบระยะเวลา 8 ชั่วโมงเฉลี่ย 6.88 kWh โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 0.175% ดังภาพประกอบที่ 5(ช)



(ก) (ข) (ค)



(ง) (จ) (ฉ)



(ช)

ภาพประกอบ 5 ประกอบด้วย 5(ก) แสดงความแม่นยำของผลการวัด power factor เฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง 5(ข) แสดงความแม่นยำของผลการวัดความถี่เฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง 5(ค) แสดงความแม่นยำของผลการวัดแรงดันสามเฟสเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง 5(ง) แสดงความแม่นยำของผลการวัดกระแสเฉลี่ย ของทั้งสามเฟส เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง 5(จ) แสดงความแม่นยำของผลการวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เครื่อง 5(ฉ) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าเมื่อทดสอบระยะเวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และ 5(ช) แสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ย

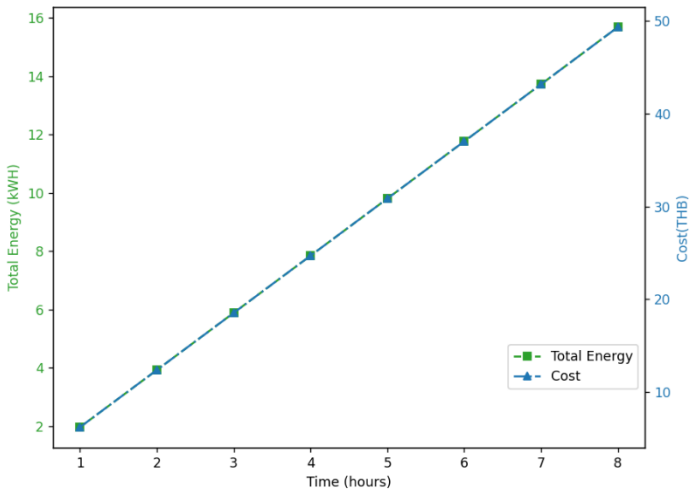
และจากการนำผลการทดสอบของกำลังไฟฟ้าจากทั้ง 3 เครื่องเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และบันทึกค่าในตารางที่ 1

ตาราง 1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องมือวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

	PZEM004T	*PQA824*	*EPM07S*
PZEM004T	*1.00*	*0.98*	*0.98*
PQA824	*0.98*	*1.00*	*0.98*
EPM07S	*0.98*	*0.98*	*1.00*

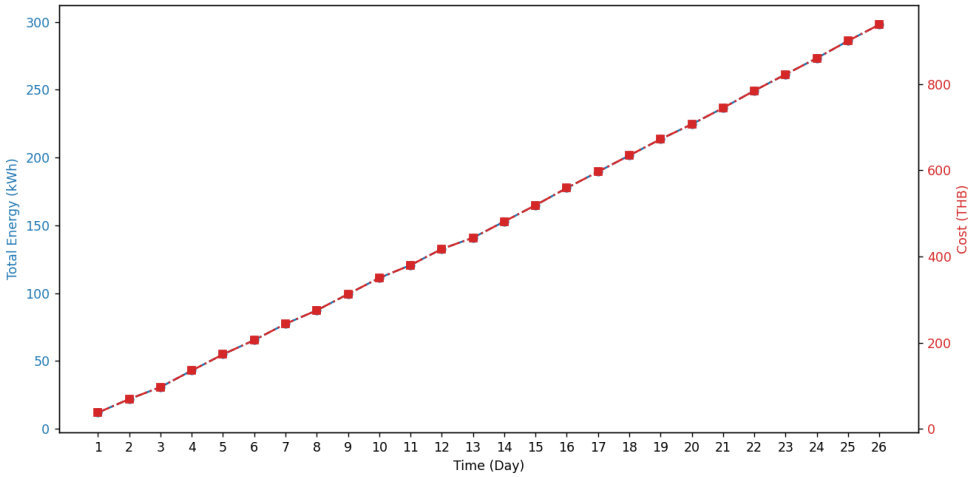
เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตารางความสัมพันธ์ของแต่ละอุปกรณ์ได้ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเครื่อง PZEM004T และเครื่อง PQA824 อยู่ที่ประมาณ 0.98 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเครื่อง PZEM004T และ เครื่อง EPM07S อยู่ที่ประมาณ 0.98 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเครื่อง PQA824 และเครื่อง EPM07S อยู่ที่ประมาณ 0.98 มีค่าสูงมาก แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญอย่างมากระหว่างการวัดค่าพลังงานระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง ซึ่งแสดงถึงการวัดค่าพลังงานที่มีความสม่ำเสมอและมีความเสถียรสูง สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์และการตัดสินใจได้อย่างเชื่อถือได้

ผลการวิจัยเมื่อทดสอบกับ 2) โหลดมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส โดยภาพประกอบที่ 6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทดสอบ 8 ชั่วโมง ซึ่งใช้พลังงานทั้งหมด 15.68 kWh และค่าใช้จ่ายทั้งหมด 49.36 บาท โดยแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลังงานที่ใช้เมื่อเวลาผ่านไป โดยผลจากการวัดค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้น



ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายเมื่อทดสอบระยะเวลา 8 ชั่วโมง

ผลการวิจัยเมื่อทดสอบกับ 3) โหลดไฟฟ้าภายในอาคารโดยทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในช่วง 26 วันทำการและเฉพาะในเวลาราชการ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายเมื่อทดสอบระยะเวลา 26 วัน

ผลการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาโดยบันทึกผลผ่านกระดานแสดงผลผ่านอินเตอร์เนตตลอดระยะเวลา 26 วันซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่บันทึก 297.97 kW คำนวณเป็นค่าใช้จ่าย 938.07 บาท อัตตราการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารเฉลี่ยวันละ 11.47 kW ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าต่อวัน 36.1 บาท

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลข้อมูลอุปกรณ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าพลังงานแบบต่าง ๆโดยเฉพาะการใช้งานโมดูล PZEM004TV3.0 (100A) โดยโมดูลดังกล่าวมีปรากฏในงานวิจัยเรื่องการทดสอบการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆรวมทั้งการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเฟสเดียวโดยโหลดเป็นไฟถนน (เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ ,2565) โดยผลการวัดมีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับการใช้โหลดคงที่ 500 W ของงานวิจัยนี้ซึ่งสามารถเชื่อมั่นในความแม่นยำและความถูกต้องของการวัดได้ สอดคล้องกับการวัดการใช้พลังงาน ในระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ต ของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษาอาคารศรีโคตร

บูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม พัฒนาโมดูลวัดโดยใช้ PZEM004TV3.0 (100A) ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เช่นเดียวกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่ของงานวิจัยใช้การวัดในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว(ณัฐภัทร อภิรัชภิญโญ และ สมบูรณ์ ชาวชายโขง, 2565; Gopika & George, 2021; Andrianto, et.al, 2023) โดยงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโมดูลวัดข้างต้นเพื่อบันทึกและทดสอบในระบบสามเฟสภายในอาคาร (Hantoro และ Setiawidayat, 2023) โดยพัฒนาระบบการวัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าพลังงานและคำนวณเป็นค่าใช้จ่าย โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ประเด็น ดังนี้ 1) การทดสอบความถูกต้องแม่นยำให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆเมื่อทดสอบที่โหลดคงที่ 500 W แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าเมื่อทดสอบระยะเวลา 8 ชั่วโมงเฉลี่ย 6.88 kWh โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 0.175% สอดคล้องกับผลการวิจัยการใช้โมดูล PZEM004TV3.0 (100A) สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟส (Hantoro และ Setiawidayat, 2023) โดยในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PZEM004TV3.0 (100A) และเครื่อง PQA824 อยู่ที่ประมาณ 0.98 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญอย่างมากระหว่างการวัดค่าพลังงานระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องต้นแบบ PZEM004TV3.0 (100A) และ เครื่อง EPM07S อยู่ที่ประมาณ 0.98 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเครื่อง PQA824 และ เครื่อง EPM07S อยู่ที่ประมาณ 0.98 เช่นเดียวกัน แสดงถึงค่าพลังงานที่มีความสม่ำเสมอและมีความเสถียรสูง 2) การทดสอบกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส 2.2 kW ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทดสอบ 8 ชั่วโมง ซึ่งการใช้พลังงานทั้งหมด 15.68 kWh ระบบสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมด 49.36 บาท สอดคล้องกับหลักการคำนวณค่าไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและสอดคล้องกับการคำนวณในวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ยงยุทธ นาสมสร้อย, 2563) และการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (ไกรวิทย์ ชูชาติ, 2565) โดยแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลังงานที่ใช้เมื่อเวลาผ่านไป โดยผลจากการวัดค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายสัมพันธ์เชิงเส้น 3) การทดสอบวัดค่าการใช้งานตลอดระยะเวลา 1 เดือน โดยวัดค่าเฉพาะช่วงเวลาตามเวลาราชการ คิดเป็นระยะเวลา 26 วัน เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดค่าไฟฟ้าในระบบสามเฟสภายในอาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมนั้นสามารถค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่บันทึก 297.97 kW และค่าใช้จ่าย 938.07 บาท อัตราการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารเฉลี่ยวันละ 11.47 kW ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าต่อวัน 36.1 บาท

ผลการวิจัยนี้สรุปได้จากผลการทดลองที่แสดง 3 ประเด็นสำคัญ ดังนี้ การทดสอบความถูกต้องแม่นยำของระบบวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ เมื่อใช้โหลดคงที่ 500 W โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 0.175% มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่อง PZEM004TV3(100A), เครื่อง PQA824 และ เครื่อง EPM07S โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงมากเฉลี่ยที่ 0.98 แสดงถึงความเที่ยงตรงและเสถียรภาพของระบบ สำหรับประเด็นการทดสอบกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส 2.2 kW พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 15.68 kWh ในระยะเวลา 8 ชั่วโมงค่าใช้จ่ายทั้งหมด 49.36 บาท สอดคล้องกับการคำนวณค่าไฟตามหลักการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และประเด็นการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริงภายในอาคารโดยการทดสอบวัดค่าการใช้งานตลอด 1 เดือน 26 วัน ภายในเวลาราชการ พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลาดังกล่าว 297.97 kW ค่าใช้จ่ายรวม 938.07 บาท หรือ 36.1 บาทต่อวัน โดยระบบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถวัดและบันทึกผลได้สอดคล้องกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่มีจำหน่ายในท้องตลาด อีกทั้งค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาจากโมดูล PZEM004TV3.0 (100A) สามารถวัดค่าได้ความถูกต้องแม่นยำในระดับที่เชื่อถือได้ มีค่าความผิดพลาดต่ำสอดคล้องกับผลการวิจัยอื่นๆที่พัฒนาด้วยโมดูลนี้ นอกจากนี้แล้วคุณสมบัติเด่นของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสได้และสามารถประเมินค่าใช้จ่ายได้ตรงตามมาตรฐานการคำนวณของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อเสนอแนะ

จากผลวิจัยให้นำเสนอข้อเสนอแนะดังนี้

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยที่ค้นพบประสิทธิภาพของการพัฒนาอุปกรณ์วัดพลังงานในระบบไฟฟ้าสามเฟส สามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดในท้องตลาดโดยมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือสามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าในสกุลเงินบาทไทยโดยอ้างอิงการคำนวณจากตารางคำนวณของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยตัวโมดูลเครื่องต้นแบบบรรลุตามวัตถุประสงค์ทั้งด้านความแม่นยำ ความถูกต้องโดยทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้วัดและวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและเป็นประโยชน์และแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพานิชย์

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

สำหรับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสที่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในหน่วยสกุลเงินบาทไทยนั้นยังเป็นเพียงการใช้การคำนวณโดยอ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.1 ในอนาคตสามารถทำการวิจัยกรณีของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.2 และกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 400 หน่วยต่อเดือน ซึ่งสามารถปรับวิธีคำนวณให้ตรงกับประเภทการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้มีความแม่นยำในการคำนวณมากขึ้น

สำหรับในงานวิจัยขั้นต่อไปการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ผู้ใช้งานเครื่องมือวัดสามารถกำหนดค่า Ft และค่าบริการของการไฟฟ้าจากปุ่มกดที่หน้าเครื่องมือวัดให้สะดวกขึ้นสำหรับผู้ใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีที่อนุเคราะห์เครื่องมือวัดและวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและอนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่อนุมัติงบประมาณเพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์

บรรณานุกรม

ไกรวิทย์ ชูชาติ. (2565). การพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารบนแพลตฟอร์มอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา อาคารศรีวิศววิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย(สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เกียรติศักดิ์ บุญประเสริฐ. (2565). การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับระบบควบคุมไฟถนนอัตโนมัติ บนแพลตฟอร์มเทคโนโลยี NB-IoT และ LoRa. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). 6553.https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6553.

ณัฐภัทร อภิรัชภิญโญ และ สมบูรณ์ ชาวชายโขง. (2565). ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) กรณีศึกษาอาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ อุดรธานี*, 10(3); 43-62.

ยงยุทธ นาสมสร้อย. (2563). *วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า*(รายงานผลการวิจัย). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สารัช มหัสสา. (2565). การออกแบบวงจรตรวจสอบและควบคุมโหลดแบบโมดูลาร์ราคาประหยัดด้วยโปรโตคอล MQTT(ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สันติภาพ กั้วพรหม. (2561). *การศึกษาเพื่อประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี*. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). ระบบประมาณการค่าไฟฟ้า. สืบค้นจาก https://eservice.pea.co.th/EstimateBill/

Andrianto, H., Susanthi, Y., Jonathan, V., & Ismail, N. (2023). Design of IoT-Based Electrical Energy Meter.

In 2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED) .1-4.

Bedi, G., Venayagamoorthy, G. K., & Singh, R. (2016). Internet of Things (IoT) sensors for smart home electric energy usage management. *IEEE International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS)* .1-6. DOI:10.1109/ICIAFS.2016.7946568.

Gopika, B., & George, S. (2021). IoT Based Smart Energy Management System using PZEM-004T Sensor & Node MCU. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 9(7); 45-48.

Hantoro, C.D. and Setiawidayat, S. (2023). Monitoring and Control of 3 Phase Electrical Energy Internet of Things (IoT) Based. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 7*(3) .80–86. DOI: 10.24018/ejece.2023.7.3.522.

Moorthy, V. M., Mansingh, B., Manoj, B., & Elango, A. (2023). Design of a Smart Energy Meter and Monitoring System for Industrial and Residential Use Based on the Internet of Things. *International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)* .1-6. DOI: 10.1109/ICSCAN58655.2023.10395669.

Selvan, M. S., Ramesh, R., Ragadeepa, H., & Sivabalan, T. (2023). IoT Enabled Smart Energy Meter for Energy Management. *International Conference in Advances in Power, Signal, and Information Technology (APSIT).* 280-284.