

ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบเติมเงินออนไลน์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

สุรินทร์ แหวมงาม^{1*} ณัฐ ตั้งปรีชาพาณิชย์² ชีระพล เหมือนขาว¹ สุทธิ ทับทองดี³

กัณฑ์เอนก พุ่มแก้ว¹ และ ประวี ภูอินทร์¹

surin.n@en.rmutt.ac.th^{1*}, nuth.tha@rmutr.ac.th², theerapol.m@en.rmutt.ac.th¹,

suthi.t@mail.rmutk.ac.th³, kananake.tk@gmail.com¹, prawee.phi@gmail.com¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

³ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Received	: 24-Aug-2021
Revised	: 12-Nov-2021
Accepted	: 17-Nov-2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบเติมเงินออนไลน์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยระบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือเครื่องเติมเงินและเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ในส่วนของเครื่องเติมเงินจะใช้สำหรับเติมเงินให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า จากนั้นข้อมูลการเติมเงินจะถูกส่งไปยังเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านระบบออนไลน์ และในส่วนของเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ สามารถแจ้งเตือนจำนวนเงินที่เติมและจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้ไปยังผู้ใช้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้ รวมถึงสามารถตรวจสอบจำนวนเงินและจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้จากหน้าจอ LCD ที่ติดอยู่ที่ส่วนควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 8 ชนิด คือ พัดลม หลอดอินแคนเดสเซนต์ หม้อหุงข้าวไฟฟ้า กระจกน้ำร้อนไฟฟ้า เตาไรต์ไอน้ำ ตู้เย็น กระจกไฟฟ้า กัดม้น้ำร้อนไฟฟ้า และทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมา จากผลการทดสอบพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 0.37 และระบบยังสามารถแจ้งเตือนจำนวนเงินที่เติม ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้และข้อมูลอื่น ๆ ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้า เติมเงินออนไลน์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แอปพลิเคชันไลน์

Prepaid Electric Energy Consumption System via Online Top-Up System and a Notification Through LINE Application

Surin Ngaemngam^{1*}, Nut Thangpreecharparnich², Theerapol Muankhaw¹, Sutte Tubtongdee³,
Kananake Toomkaew¹ and Prawee Phuin¹
surin.n@en.rmutt.ac.th^{1*}, nuth.tha@rmutr.ac.th², theerapol.m@en.rmutt.ac.th¹,
suthi.t@mail.rmutk.ac.th³, kananake.tk@gmail.com¹, prawee.ph@gmail.com¹

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

³ Department of Electronic and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

Received	: 24-Aug-2021
Revised	: 12-Nov-2021
Accepted	: 17-Nov-2021

Abstract

This research presents a prepaid electric energy consumption system via online top-up system and a notification through Line application. The system is composed of two parts: the prepaid machine and the electric power consumption-control machine. The prepaid machine is used for topping up money for the electric power users and then the information of the top-up money will be sent to the electric power consumption-control machine via online system. The electric power consumption-control machine is used for controlling the electric energy consumption of the electric power users. This machine can notify the users of the amount of top-up money and the amount of electricity that can be used via Line application. In addition, the electric power users can verify the amount of money and the amount of electricity that can be used on LCD monitors attached to the electric power consumption-control machine. The efficiency of the system was tested using eight electrical appliances namely: an electric fan, an incandescent lamp, an electric rice cooker, an electric jar pot, a steam iron, a refrigerator, an electric pan, and an electric kettle. The electric power consumption was measured by kilowatt-hour meter compared with the proposed electric power control system. For the experimental results, it was found that the average error of the electric power consumption was at 0.37 %. In addition, the notification system that notifies the electric power users of the existing the amount of money, the amount of electricity that can be used and other information is proven effective.

Keywords: Electric energy consumption system, Online Top up, Kilowatt-hour meter, LINE application

1. บทนำ

ปัจจุบันจะเห็นว่ามีกรรเรียนจากผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมากในเรื่องของการเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทั้งในส่วนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกเรียกเก็บจากการไฟฟ้าไม่ตรงกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า และอีกกรณีหนึ่งที่พบคือการไฟฟ้าไม่สามารถเรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ไฟฟ้าได้ซึ่งอาจจะด้วยหลายสาเหตุปัจจัย เช่นผู้ใช้ไฟฟ้าไม่มีเงิน ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่มีเวลาไปจ่ายค่าไฟฟ้า หรือผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ได้รับใบเรียกเก็บจากการไฟฟ้า ดังนั้นระบบการใช้ไฟฟ้าแบบจ่ายก่อนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อจะแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอระบบการใช้ไฟแบบจ่ายก่อน ประดิษฐ์ ลักษณะอังกฤษ [1] เสนอการพัฒนา มิเตอร์แบบจ่ายก่อน โดยใช้โปรแกรมภาษาซีในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์ส่วนมากเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีราคาในการสร้างค่อนข้างสูง และเนื่องมีการใช้งานกลางแจ้งจึงมีผลต่อเสถียรภาพในการ บันทึก แก้วศรี [2] เสนอระบบชำระเงินค่าไฟฟ้าแบบล่วงหน้าด้วยเครื่องสมาร์ทการ์ด กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า จากการศึกษาพบว่าต้องมีการกำหนดเลือกเส้นและคู่สายของโทรศัพท์ที่เหมาะสม ดังนั้นต้องมีการทดสอบค่าความเป็นฉนวน ระยะทางความยาวของคู่สายโทรศัพท์ และค่าความเป็นฉนวน ทำให้มีความยากและซับซ้อน ธนาวิทย์ โปรยเจริญ และ ธนาภัทร์ เทศสวัสดิ์ [3] เสนอระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่าน RFID ควบคุมด้วย Arduino Uno R3 ซึ่งระบบการแจ้งเตือนของระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่าน RFID ควบคุมด้วย Arduino Uno R3 แสดงข้อมูลผ่านจอ LCD เพียงอย่างเดียว ในกรณีที่ผู้ใช้งานอยู่ห่างจอ LCD ผู้ใช้งานจะไม่สามารถรู้ข้อมูลได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้เหลือเท่าไร ตลอดจนการเติมเงินเข้าระบบโดยผ่านบัตร RFID ควบคุมด้วย Arduino Uno R3 มีความยุ่งยากต่อผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าต้องมีบัตร RFID เมื่อต้องการใช้ไฟฟ้าต้องเอาบัตร RFID ให้ผู้ดูแลระบบเติมเงินใส่ในบัตรก่อน จากนั้นต้อง

เอาบัตร RFID มาทาบบเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อที่จะทำการเปิดระบบและจึงจะสามารถใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าได้

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบออนไลน์และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งปัจจุบันแอปพลิเคชันไลน์เป็นที่นิยมใช้ในการติดต่อสื่อสารและการการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรู้ข้อมูลได้ทันทีสำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบออนไลน์และแจ้งเตือนการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์

2. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นเครื่องวัดที่ใช้ตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป [4] ในงานวิจัยนี้กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ถูกนำมาใช้เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ากับโมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือ PZEM กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ 1 เฟสของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (PZEM) เป็นโมดูลที่สามารถใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า [5] ในงานวิจัยนี้ PZEM ถูกนำมาใช้สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณและประมวลผลต่อไป โดยโมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (PZEM)

2.3 Node MCU ESP8266

ESP8266 เป็นชื่อเรียกของชิพของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารบนมาตรฐาน WIFI ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6V ทำงานใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80mA รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงาน ใช้กระแสน้อยกว่า 10 ไมโครแอมป์ สามารถ wake up กลับมาส่งข้อมูลใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 มิลลิวินาที ภายในมี Low power MCU 32bit ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ มีวงจร analog digital converter ทำให้สามารถอ่านค่าจาก analog ได้ความละเอียด 10bit [6] บอร์ด Node MCU ESP8266 แสดงดังรูปที่ 3 ในงานวิจัยนี้ Node MCU ESP8266 ถูกนำมาใช้สำหรับส่งข้อมูลจำนวนเงินไปยัง Node MCU ESP32

2.4 Node MCU ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อ WIFI และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว โดยตัวไอซี ESP32 มีข้อมูลโดยละเอียดดังนี้ ชิพใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz มีแรมในตัว 512KB รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอก สูงสุด 16MB

มาพร้อมกับ WIFI มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station soft AP และ Wi-Fi direct มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 V ถึง 3 V [7] ในงานวิจัยนี้ Node MCU ESP32 ถูกนำมาใช้สำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยบอร์ด Node MCU ESP32 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 บอร์ด Node MCU ESP8266



รูปที่ 4 บอร์ด Node MCU ESP32

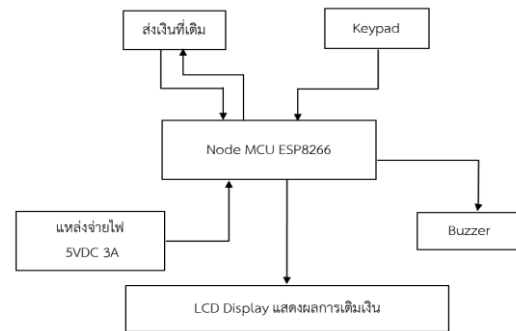
3. การออกแบบระบบการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.1 ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบออนไลน์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

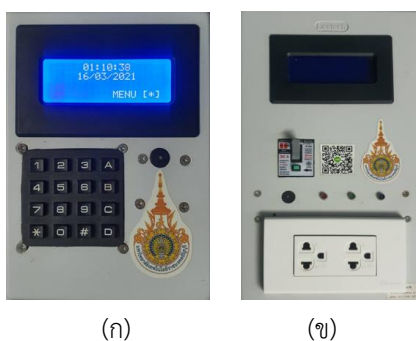
ภาพรวมการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 5 โดยระบบแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือเครื่องเติมเงินเข้าระบบและเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยจะต้องมีการเติมเงินเข้าระบบผ่านเครื่องเติมเงินและข้อมูลการเติมเงินจะถูกส่งผ่านระบบออนไลน์ไปยังเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า จากนั้นเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าจะส่งข้อมูลจำนวนเงินที่เติม จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมด ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์



รูปที่ 5 ภาพรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ 7 แผนผังการควบคุมการเติมเงินเข้าระบบ



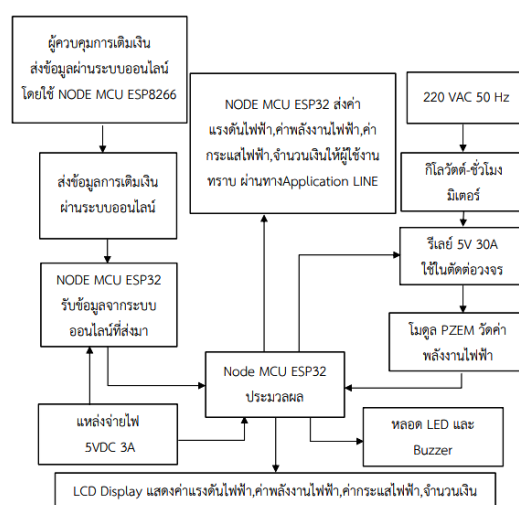
(ก)

(ข)

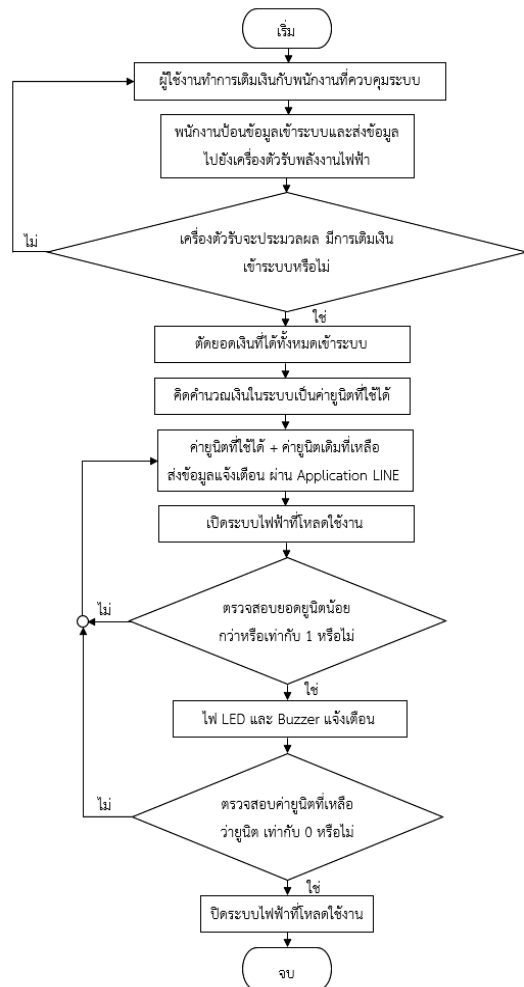
รูปที่ 6 (ก) เครื่องเติมเงินเข้าระบบ (ข) เครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า

ส่วนที่ 1 เครื่องเติมเงินเข้าระบบ จะประกอบด้วยโมดูล Node MCU ESP8266 เป็นอุปกรณ์ที่ประมวลผลค่าต่างๆ รับค่าอินพุตและเอาต์พุตทำหน้าที่ส่งข้อมูลการเติมผ่านระบบออนไลน์ไปยังเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ในส่วนที่เป็นอินพุตนั้นประกอบไปด้วย Keypad ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมการเติมเงินเข้าระบบ ทางด้านของเอาต์พุตจะประกอบด้วยจอแสดงผล LCD (LCD Display) ซึ่งใช้แสดงผลจากการสั่งการของ Keypad ส่วนโมดูล Buzzer เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ผู้ใช้งานทราบการใช้งานผ่านเสียงเมื่อมีการกด Keypad หลักการทำงานของส่วนต่างๆ เหล่านี้ต้องทำงานให้มีความสัมพันธ์โดยจะใช้ Arduino เป็นตัวควบคุมหลัก แผนผังการควบคุมการเติมเงินเข้าระบบแสดงดังรูปที่ 7

ในส่วนที่ 2 เครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูลการเติมเงินแล้วนำข้อมูลไปคิดคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย Node MCU ESP32 จะรับข้อมูลจากเครื่องส่งคือ Node MCU ESP8266 เพื่อทำการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าและ Module PZEM 004T เป็นอุปกรณ์อินพุตวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้คำนวณ เป็นต้นต่อมาในส่วนของเอาต์พุตจะประกอบไปด้วย 1) LCD Display ใช้แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า, ค่าแรงดัน, กระแส และเวลาที่สามารถใช้งานได้ 2) รีเลย์ใช้สำหรับเปิด-ปิดระบบ 3) หลอด LED และ Buzzer สำหรับแจ้งเตือนเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าเหลือต่ำกว่าที่กำหนด แผนผังการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 9 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.2 ขั้นตอนการใช้งาน

การทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 9 โดยเริ่มจากผู้ใช้งานทำการเติมเงินกับพนักงานที่ดูแลระบบ พนักงานเติมเงินเข้าระบบ ระบบจะทำการประมวลผล คิดคำนวณเงินเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถได้ และส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และทำการเปิดระบบภายในห้องพักโดยแสดงการทำงานจากจอแสดงผลแบบ LCD จนเมื่อผู้ใช้งานใช้พลังงานไฟฟ้า เหลือน้อยกว่าหนึ่งหน่วย หลอด LED จะกระพริบและ Buzzer จะเปลี่ยนเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้ไฟฟ้าให้ทำการเติมเงินเข้าในระบบ ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้เมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าเป็น 0

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบจะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 8 ชนิด คือ พัดลม หลอดอินแคนเดสเซนต์ หม้อหุงข้าวไฟฟ้า กระจกน้ำร้อนไฟฟ้า เตารีด ตู้เย็น กระทะไฟฟ้า และกาต้มน้ำร้อนไฟฟ้า โดยมีการทดสอบดังนี้

4.1 ทดสอบการทำงานของระบบตั้งแต่เริ่มใช้พลังงานจนจบกระบวนการทำงานแบบอัตโนมัติ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ครั้งที่	พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	เปิดระบบ	สถานะหลอด LED กระพริบและ Buzzer ส่งเสียงเตือนเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้า น้อยกว่า 1 หน่วย	เติมเงินเข้าระบบเพื่อให้ค่าพลังงานไฟฟ้า เพิ่มขึ้น	สถานะหลอด LED และ Buzzer ดับ เมื่อค่าพลังงานไฟฟ้า มากกว่า หรือเท่ากับ 1 หน่วย	ระบบปิด
1	1	✓	✓	✓	✓	✓
2	1	✓	✓	✓	✓	✓
3	1	✓	✓	✓	✓	✓
4	1	✓	✓	✓	✓	✓
5	1	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ :

ระบบเปิด หมายถึง สามารถใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าได้

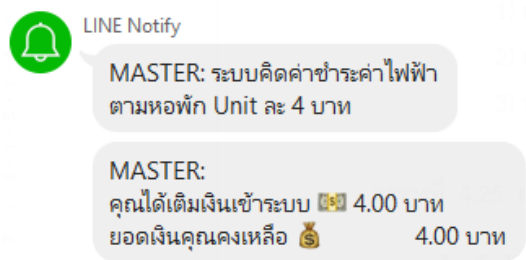
LED กระพริบและ Buzzer ส่งเสียงเตือน แสดงถึงเงินในระบบใกล้หมดและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้มีค่าน้อยกว่า 1 หน่วย

เติมเงินใหม่ หมายถึง เติมเงินเข้าไปในระบบ เพื่อให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าไม่น้อยกว่า 1 หน่วย

LED และ Buzzer ดับ แสดงถึง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าเท่ากับ 0

ระบบปิด หมายถึง ไม่สามารถใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าได้เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้เท่ากับ 0

จากผลการทดสอบจากตารางที่ 1 จากการทดสอบการทำงานของระบบตั้งแต่เริ่มใช้พลังงานไฟฟ้า จนจบกระบวนการทำงานแบบอัตโนมัติระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยตัวอย่างการทำงานของระบบตั้งแต่เริ่มใช้พลังงานไฟฟ้า จนจบกระบวนการทำงานแบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 10 - 17



รูปที่ 10 ข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านเมื่อมีการเติมเงินเข้าระบบ

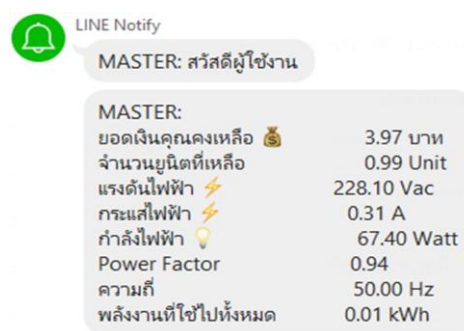


รูปที่ 11 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้มีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วย ระบบเปิดอัตโนมัติ

รูปที่ 10 แสดงข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์หลังจากและหลังเติมเงินเข้าระบบแล้วทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วยทำให้ระบบเปิดอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 11 และเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าน้อยกว่าหนึ่งหน่วย หลอดไฟ LED จะกระพริบและ Buzzer ส่งเสียงเพื่อเป็นการแจ้งเตือน ดังแสดงในรูปที่ 12 และมีข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าน้อยกว่าหนึ่งหน่วยเพื่อแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทำการเติมเงินเข้าระบบ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 ค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบที่สามารถใช้ได้มีค่าน้อยกว่าหนึ่งหน่วย หลอด LED กระพริบ

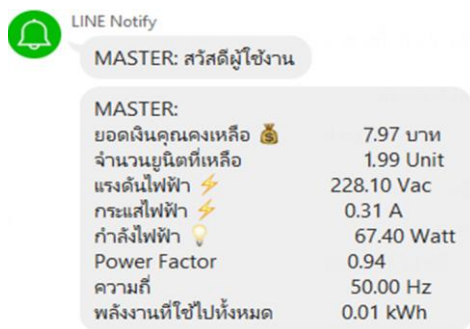


รูปที่ 13 ข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าน้อยกว่า 1 หน่วย

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าทำการเติมเงินเข้าระบบแล้วและค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าตั้งแต่หนึ่งหน่วยขึ้นไป หลอดไฟ LED จะดับ ดังแสดงในรูปที่ 14 และจะมีข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ดังแสดงในรูปที่ 15 และเมื่อเงินในระบบมีและค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่าเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 16 ระบบควบคุมจะทำการสั่งให้ระบบปิดและจะมีข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ดังแสดงในรูปที่ 17



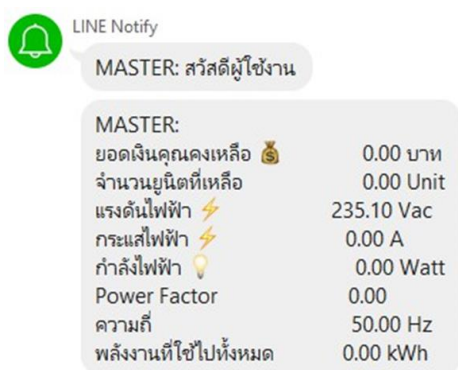
รูปที่ 14 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้มีค่ามากกว่าหนึ่งหน่วยหลอด LED และ Buzzer หยุดการแจ้งเตือน



รูปที่ 15 ข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าหลังจากเดิมเงินค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่า 1.99 หน่วย



รูปที่ 16 เงินในระบบมีค่า 0 บาท และค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่า 0 หน่วย



รูปที่ 17 ข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้มีค่า 0 หน่วย

4.2 ทดสอบและวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์และเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยทำการทดสอบ 10 ครั้ง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 และตัวอย่างค่าพลังงาน

ไฟฟ้าที่อ่านได้จากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์และที่เครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า เริ่มต้นที่ 0 หน่วย แสดงดังรูปที่ 18 - 19

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์และจากระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ครั้งที่	จำนวนหน่วยเริ่มต้นของกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (kWh)	ค่าพลังงานที่อ่านได้จากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (kWh)	จำนวนหน่วยเริ่มต้นของ PZEM (kWh)	ค่าพลังงานที่อ่านได้จาก PZEM (kWh)	ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
1	0	1.03	0	1.03	0.00
2	1.03	2.04	1.03	2.05	0.49
3	2.04	3.07	2.05	3.08	0.33
4	3.07	4.08	3.08	4.10	0.49
5	4.08	5.09	4.10	5.11	0.39
6	5.09	6.08	5.11	6.10	0.33
7	6.08	7.06	6.10	7.09	0.42
8	7.06	8.09	7.09	8.12	0.37
9	8.09	9.08	8.12	9.12	0.44
10	9.08	10.07	9.12	10.11	0.40
			ค่าเฉลี่ย		0.37



(ก)



(ข)

รูปที่ 18 ตัวอย่างค่าพลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 0 หน่วย (ก)กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์และ (ข) เครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า



(ก) 5.09 หน่วย



(ข) 5.11 หน่วย

รูปที่ 19 ตัวอย่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จาก (ก) กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์และ (ข) เครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.37 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_2} \right| \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ x_1 คือค่าพลังงานที่อ่านได้จาก PZEM

x_2 คือค่าพลังงานที่อ่านได้จากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

5. วิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบออนไลน์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งการทำงานของระบบนั้นจะต้องมีการเติมเงินผ่านทางเครื่องเติมเงิน หลังจากนั้นข้อมูลการเติมเงินจะถูกส่งผ่านระบบออนไลน์ไปยังเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าและเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าจะส่งข้อมูลจำนวนเงินที่เติม ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้และข้อมูลอื่น ๆ ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรู้ข้อมูลได้ทันที นอกจากนี้ผู้ใช้ไฟฟ้ายังสามารถตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ได้ทางหน้าจอ LCD ที่ติดอยู่กับเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ จากการทดสอบการทำงานของระบบ

ควบคุมที่นำเสนอเกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 8 ชนิดพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์กับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.37 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากโวลตบางชนิดมีการตัด-ต่อ การทำงานทำให้มีการกระชากของกระแส ซึ่งความเร็วในการทำงานของ Node MCU ESP32 ไม่สามารถตอบสนองได้โดยทันที

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการและสำเร็จไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องจากการได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณคุณธนวิทย์ โปรายเจริญ คุณธนภัทร์ เทศสวัสดิ์ ที่ช่วยแนะนำและให้ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยและขอขอบคุณ คุณอัสมันต์ บาเหะ ที่ช่วยตรวจสอบข้อมูลและจัดการข้อมูลผลการทดสอบ รวมถึง ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pradit L. 2548. Small rice milling machine [master's thesis]. Faculty of Industrial Education and technology: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2005. (in Thai)
- [2] Bundit K. 2549. Remote data smart card kilo watt-hour meter on leased line network [master's thesis]. Faculty of Engineering: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; 2006. (in Thai)

- [3] Thanavit P, Thanapat T. Prepaid electric energy consumption system via RFID controlled by Arduino Uno R3 [Bachelor's thesis] Faculty of Engineering: Rajamangala University Of Technology Thanyaburi; 2020 (in Thai)
- [4] W. Jantin, Kilowatt-Hour Meter. [Internet]. 2008 [cited 2020 Nov 5]. Available from: <http://watcharin2121.blogspot.com/2016/05/kilowatt-hour-meter.html> (in Thai)
- [5] Nongnuch S. PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module. [Internet] 2018 [cited 2020 Nov 10]. Available from: <http://nemoman.blogspot.com/2018/01/pzem004t.html> (in Thai)
- [6] ArduinoAll, ESP8266. [Internet] 2019 [cited 2020 Feb 5]. Available from: <https://www.arduinoall.com/article/30/node-mcu-esp8266-esp8285-arduino-1.html> (in Thai)
- [7] Ioxhop. Node MCU ESP32. [Internet] 2018 [cited 2020 Feb 5]. Available from: <https://www.ioxhop.com/article/62/esp32-esp32.html> (in Thai)