ระบบควบคุมและแสดงค่าพลังงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำด้วย IOT

Control System and Power Display of Water Pump Motor with IOT

ณรงค์ชัย ทศพร[1] ณัฐวิทย์ มหาสังข์[2] เพ็ญนภา เจริญดี[2] ชัยวุฒ ชูรักษ์[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร chaiwut_su@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการประยุกต์นำ IOT เข้ามาจัดเก็บข้อมูลเชิงประจักษ์ของการใช้พลังงานการขับเคลื่อนมอเตอร์ เนื่องจากในอาคารตึกสูงหรือทางด้านอุตสาหกรรมได้มีการนำมอเตอร์ปั๊มน้ำมาใช้อย่างแพร่หลาย บทความนี้ฉบับนี้มุ่งเน้นการเก็บค่าพลังที่ใช้ที่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ปั๊มน้ำ อินเวอร์เตอร์ถูกใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำเพื่อปรับความถี่และแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานของโหลด การวัดพลังไฟฟ้าของมอเตอร์ปั๊มน้ำใช้มิเตอร์กำลังไฟฟ้าตรวจวัดพลังงานเพื่อเปรียบเทียบกับการเสียค่าใช้จ่าย ระบบที่นำได้นำเทคโนโลยี IOT ประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความสะดวกใช้งานออกแบบการคุมอินเวอร์เตอร์แบบออนไลน์ ระบบสามารถสั่งการเปิด-ปิดและกำหนดความถี่ของมอเตอร์ปั๊มน้ำเพื่อเหมาะสมกับอัตราการไหลของน้ำตามที่ต้องการผ่านการใช้ Node–Red

คำสำคัญ: มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส, อินเวอร์เตอร์, IOT

Abstract

This article was an application of IOT to collect empirical data on the use of motor drive energy because in high-rise buildings or in industry, motors for water pumps have been widely used. This paper focused on collecting the energy used to drive a water pump motor. The inverter was used to control the operation of the water pump motor to adjust the voltage and frequency to suit the application of the load. Measuring the power of a water pump motor used a power meter to measure energy to compare it to cost. The system applied IOT technology to increase the convenience of using the design of online inverter control. Through the use of Node-Red, the system can control the on-off and frequency of the water pump motor to suit the desired water flow rate.

Keywords: Three-phase induction motor, Inverter, IOT

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่มากขึ้นการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์และเป็นอีกปัจจัยหนึ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิต การใช้พลังงานไฟฟ้าจึงจำเป็นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดการพัฒนาเครื่องมืออุปกรณ์ทางไฟฟ้าเพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยให้เกิดผลตอบแทนสูงสุดและเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด

ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) หมายถึง ระบบอัตโนมัติที่นำข้อมูลการใช้พลังงาน เข้ามาใช้ในการควบคุมการใช้พลังงานนั้นเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด โดยอ้างอิงระบบบริหารจัดการพลังงานตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด พ.ศ. 2558 – 2579 ที่เน้นระบบบริหารจัดการพลังงานด้านผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก การบริหารจัดการพลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้ากล่าวถึงระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านเรือน ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร และระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม [1]

ขั้นตอนการจัดการพลังงานจากข้อกำหนดตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ซึ่งกำหนดให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมจำเป็นต้องเริ่มให้ใช้วิธีการจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวิธีการจัดการพลังงานนั้นต้องมีการปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอนนั้น ต้องเริ่มจากการติดตั้งระบบตรวจวัดค่าพลังงานที่ใช้จริงเพื่อประเมินผลการใช้พลังงานและจัดการการใช้พลังงานให้บรรลุตามเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงาน

การพัฒนาระบบตรวจสอบและเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IOT สำหรับอาคารสำนักงานหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อมได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายและแสดงผลผ่านแอพพลิเคชั่น [2-3] ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอการเก็บค่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนการขับมอเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในด้านอุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่ รวมถึงอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย ตัวอย่างเช่น การใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำในอาคารสูง การใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนรายผลิต การใช้มอเตอร์ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น จากตัวอย่างข้างต้นเห็นได้ว่า การประยุกต์ใช้มอเตอร์ ซึ่งเป็นโหลดอีกชนิดหนึ่งที่มีใช้อย่างแพร่หลาย การนำเสนอเทคนิคเพื่อพัฒนาให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีการรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่นที่ทำงานรวมกัน ได้มีการปรับปรุงการทำงานของโหลดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงโดยการนำอินเวอร์เตอร์เข้ามาเพื่อสั่งการปรับความถี่เพื่อให้ความเร็วรอบของโหลดเพื่อให้ได้ผลตามความต้องการและดูผลเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานจากการไหลของน้ำกับความถี่ที่ปรับได้ [4-5] การ

available online January 1, 2023.
*Corresponding author: **ชัยวุฒ ชูรักษ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร** (E-mail: chaiwut_su@hotmail.com)

ประยุกต์ใช้ IOT เข้ามามีส่วนร่วมในการควบคุมและสั่งการทำงานของมอเตอร์ผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นและมีการเก็บค่าพลังงานที่ใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาได้และยังสามารถดูค่าแบบเรียลไทม์ได้ ดังนั้นผู้ใช้งานจะสามารถสั่งงานปรับค่าต่าง ๆ ได้ทั้งหน้างานหรือจะสั่งค่าผ่านระบบออนไลน์ก็ได้

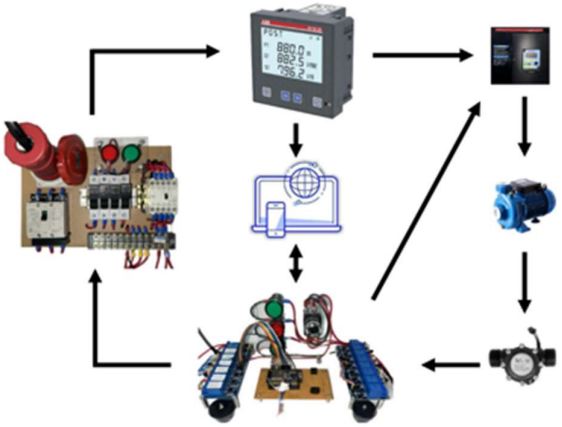
การสร้างสรรค์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงกับการเก็บค่าพลังงานที่ใช้แล้วสามรถนำไปใช้ในการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในอนาคตได้ผู้ที่มีความสนใจ นอกจากนี้ในยังสามารถสั่งการทำงานผ่านระบบออนไลน์ได้สามารถประยุกต์กับระบบโซล่าเซลล์ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่นำมาใช้โดยไม่ทำลายสภาพแวดล้อม จากหลักการที่กล่าวมานั้นเป็นการอนุรักษ์พลังงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทำงานของระบบโดยใช้หน่วยเป็นการสร้างหน้า Dashboard แบบออนไลน์เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายของการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำและแสดงค่าพลังที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลาแบบเรียลไทม์ โดยมีการรับค่าจากมิเตอร์ที่ใช้ทุก ๆ 1 มิลลิวินาทีเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นเรียลไทม์และแม่นยำ

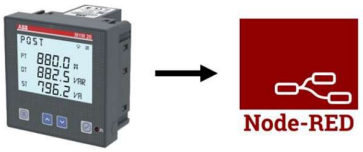
2.1 การออกแบบและพัฒนางานวิจัย

การออกแบบการทำงานของ Circuit Breaker ในการออกแบบการทำงานเพื่อเกิดความสะดวกในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 ระบบการทำงานเพื่อให้สามารถควบคุมผ่านระบบออนไลน์ได้ โดยการสั่งการทำงานผ่านหน้า Dashboard ผ่านระบบการทำงานของ Node-Red รับคำสั่งแล้วสั่งการทำงานไปยังบอร์ด ESP32 เพื่อรับคำสั่งแล้วส่งสัญญาณไปขับ delay switch เพื่อให้ แมกเนติกทำงานครบการทำงานของการจ่ายกระแสไฟฟ้าทำงานได้ในระบบ

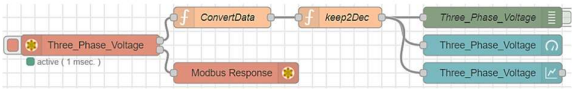


รูปที่ 1 ภาพรวมของการทำงานระบบ

การออกแบบการดึงข้อมูลแรงดัน กระแสและ กำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์ ABB ผ่านการเชื่อมต่อช่องทางสื่อสาร RS 485 ด้วย Modbus Protocol ดังรูปที่ 2 และ 3



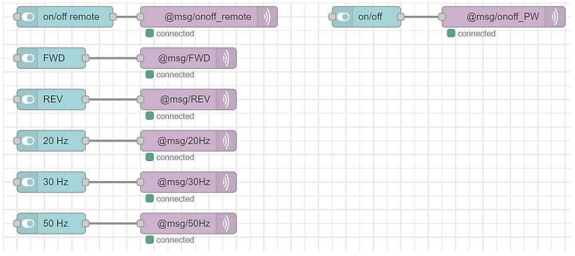
รูปที่ 2 การดึงข้อมูลจากมิเตอร์ไปยัง Node-Red



รูปที่ 3 โหนดการดึงค่าจากมิเตอร์

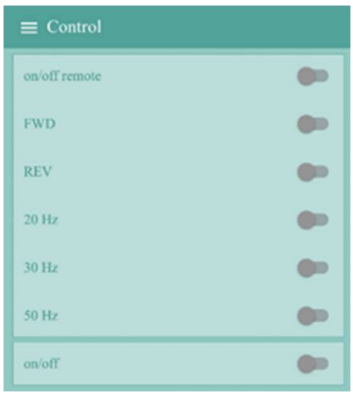
NETPIE เป็นแพลตฟอร์มให้บริการสำหรับ IoT เป็นระบบพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนา นักพัฒนาฮาร์ดแวร์สามารถพัฒนาอุปกรณ์ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการติดตั้งดูแลระบบสื่อสารระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือฐานข้อมูลใด ๆ ในขณะเดียวกันแพลตฟอร์มนี้ยังช่วยให้นักพัฒนาซอฟต์แวร์เข้าถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ผ่านไลบรารี่สำเร็จรูปที่แพลตฟอร์มเตรียมไว้ให้ โครงสร้างการเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต ดังรูปที่ 4 ดังนั้นบริการแพลตฟอร์ม NETPIE จึงเป็นเสมือนสะพานเชื่อมระหว่างนักพัฒนาฮาร์ดแวร์และนักพัฒนาซอฟต์แวร์การใช้งาน Node-Red ในการส่งข้อมูลไปยัง NETPIE ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับ ESP32 ที่ทำหน้าที่ควบคุม Relay โดยกำหนดการทำงานของมอเตอร์ที่ความถี่ ต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ ผ่านการส่งสัญญาณจากรีเลย์ไปยังส่วนอินพุตอะนาล็อกของอินเวอเตอร์เพื่อกำหนดความถี่ของปั๊มน้ำ ดังรูปที่ 5

รูปที่ 4 ส่วนรับส่งข้อมูลระยะไกลด้วย Node-Red ควบคุม Relay



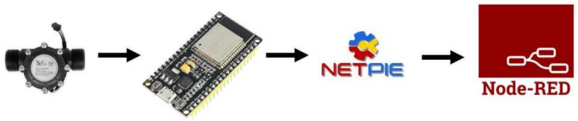
รูปที่ 5 โหนดการควบคุม Relay ในการควบคุมเปิด-ปิด

การสร้างหน้า Control การสั่งการทำงานของการปิดเปิดและสามารถปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อกำหนดการทำงานของมอเตอร์ รูปที่ 6 แสดง Dashboard หน้า Control เป็นหน้าจอการควบคุมการทำงานและสั่งค่าของอินเวอร์เตอร์และการควบคุมเปิด/ปิดการทำงานของระบบ

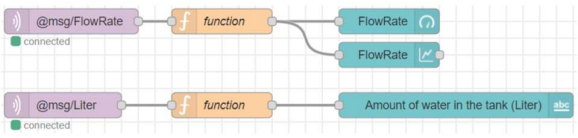


รูปที่ 6 หน้าจอเลือกความถี่มอเตอร์

การรับข้อมูลจาก NETPIE ที่เชื่อมต่อเชื่อมต่อกับ ESP32 สำหรับการวัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



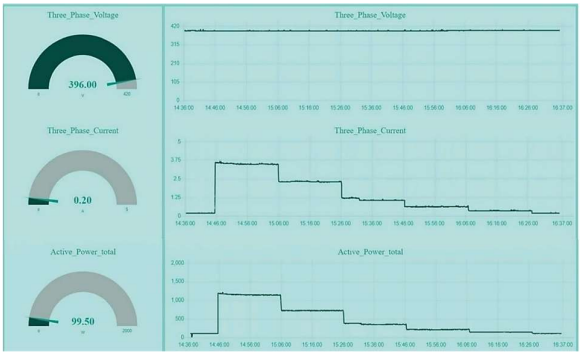
รูปที่ 7 ส่วนรับส่งข้อมูลระยะไกลด้วย Node-Red จากเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 8 โหนดการรับค่า Flowrate มาแสดงผลที่หน้าจอ Node-Red

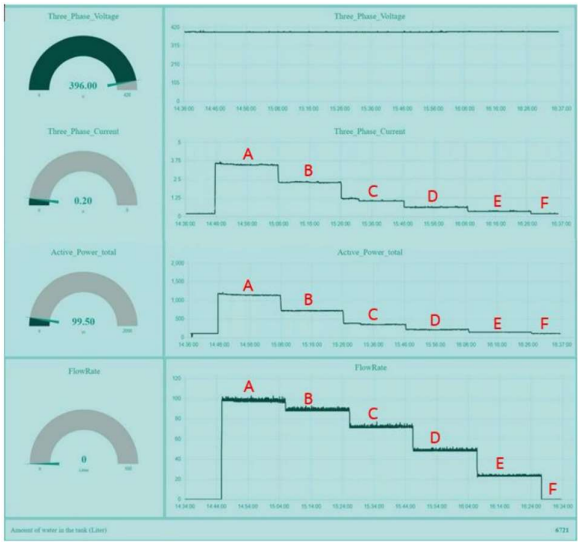
3. ผลการดำเนินงาน

ระบบควบคุมและแสดงค่าพลังงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำด้วย IOT ถูกทดสอบด้วยการอ่านค่าแรงดันกระแสและกำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์ ABB ที่สภาวะการสั่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์ปั๊มน้ำผ่าน Node-Red เพื่อส่งข้อมูลไปยัง NETPIE และแสดงผล ที่จอ Dashboard ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผล Three Phase System

การกำหนดความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นการจำลองการใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำในอาคารสูงและภาคอุตสาหกรรม โดยการปรับย่านความถี่เป็น 50, 40, 30, 20, 10 และ 0 Hz แล้วนำค่าที่ได้มาแสดงเก็บผลที่ Dashboard และทำการเปรียบเทียบค่าพลังที่มอเตอร์ปั๊มน้ำใช้ได้แต่ละย่านความถี่



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับอัตราการไหลของน้ำ

รูปที่ 10 แสดงการวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟสเพื่อเปรียบเทียบค่ากับอัตราการไหลของน้ำ ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเป็นไปตามอัตราการไหลของน้ำนั้นทำโดยการควบคุมการจ่ายความถี่และแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ให้กับมอเตอร์

พิจารณาช่วง A เป็นการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยการใช้ความถี่สูงสุดให้กับมอเตอร์ 50 Hz ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้าพุ่งสูงขึ้นโดยมีค่ากระแสอยู่ที่ 3. 65 A แล้วใช้กำลังไฟฟ้า 1178 W ซึ่งทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีโหลดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 100 L/min ซึ่งเป็นปริมาณพิกัดที่มอเตอร์สามารถทำได้

พิจารณาช่วง B เป็นการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยการใช้ความถี่ 40 Hz ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้ามีค่ากระแสอยู่ที่ 2.23 A แล้วใช้กำลัง 764 W ซึ่งทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีโหลดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 90 L/min

พิจารณาช่วง C เป็นการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยการใช้ความถี่ 30 Hz ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้ามีค่ากระแสอยู่ที่ 1.2 A แล้วใช้กำลัง 400 W ซึ่งทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีโหลดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 70 L/min

พิจารณาช่วง D เป็นการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยการใช้ความถี่ 20 Hz ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้ามีค่ากระแสอยู่ที่ 0.7 A แล้วใช้กำลัง 250 W ซึ่งทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีโหลดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 50 L/min

พิจารณาช่วง E เป็นการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยการใช้ความถี่ 10 Hz ปริมาณกระแสและกำลังไฟฟ้ามีค่ากระแสอยู่ที่ 0.4 A แล้ว

ใช้กำลัง 140 W ซึ่งทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีโหลดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 20 L/min

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับพลังทางกล (อัตราการไหล) เพื่อหาการประหยัดพลังงาน โดยใช้ค่าทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าทางกลของมอเตอร์แล้วนำมาคิดคำนวณกับอัตราไหลการใช้จ่ายเทียบกับการคิดคำนวณค่าไฟฟ้าจากไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 3 กิจกรรมขนาดกลาง

การทำการทดลองเมื่อทำการในการการเก็บข้อมูลการคำนวณของมอเตอร์ปั๊มน้ำโดยทำการปรับความถี่ของมอเตอร์โดยกำหนดเป็น 50Hz, 40Hz, 30Hz, 20Hz, 10Hz โดยมีตัวแปรควบคุมเป็นปริมาณของน้ำอยู่ที่ 300 ลิตรเพื่อเปรียบเทียบการใชจ่ายไฟฟ้าสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายไฟฟ้านำมาสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการปรับความถี่เพื่อหาค่าประหยัดพลังงาน

ความถี่ (HZ)	จำนวนน้ำ (ลิตร)	อัตราการไหล L/min	เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า(W)	ค่าไฟ (บาท)
50	300	100	0.05	395.7	3.566	1135	0.1788
40	300	90	0.0555	396.0	2.238	646.6	0.11298
30	300	70	0.0697	396.6	0.775	189.2	0.0415
20	300	50	0.1018	397.5	0.487	93.38	0.029
10	300	20	0.2403	398.0	0.333	49.37	0.0375

จากตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบการทำงานของมอเตอร์โดยการควบคุมตัวแปรปริมาณของน้ำที่ 300 ลิตร ในแต่ละย่านความถี่ และคิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ตามอัตราการไหลของน้ำ

4. การประเมินผลการทำงานของระบบ

คณะผู้จัดทำได้สร้างการควบคุมและแสดงค่าพลังงานของโหลดจำลองคือมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นการสร้างระบบให้เข้ากับอุตสาหกรรม 4.0 โดยได้ทำการศึกษาค้นคว้าสร้างแบบจำลองการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำ โดยการใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ปั๊มน้ำและได้ทำการสร้างระบบสั่งงานออนไลน์ผ่านหน้าจอ Dashboard โดยการใช้ NodeMCU ESP32 เป็นตัวรับคำสั่งจากหน้าจอ Dashboard และส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ เพื่อทำการเปิดปิดการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำ และสามารถสั่งการควบคุมปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ได้ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำได้สร้างเครื่องมือการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการนำมิเตอร์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งมีช่องเชื่อมต่อสื่อสารมาใช้ในการวัดค่าพลังงานและนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้มาคำนวณและโชว์บนหน้าจอเพื่อสร้างความสะดวกสบายในการดูค่าพลังงานและสามารถดูได้แบบเรียลไทม์

5. สรุป

การศึกษาจำลองการสร้างระบบควบคุมและแสดงค่าพลังงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำ ชุดการทดลองครั้งนี้มีมิเตอร์ไฟฟ้าสามารถวัดค่าพลังงานได้นั้นมีประโยชน์ในการติดตามค่าพลังงาน ได้เห็นค่าการใช้งานแบบเรียลไทม์และได้ทำการทดลองในการจำลองโหลดการใช้ไฟฟ้าคือมอเตอร์ปั๊มน้ำ โดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมสามารถเห็นค่าพลังงานได้ชัดเจนโดยมีการปรับความถี่ในการควบคุมมอเตอร์เป็น 50Hz, 40Hz, 30Hz, 20Hz และ 10 Hz เพื่อเปรียบเทียบกับพลังงานกลที่ได้คืออัตาการไหลของน้ำและได้มีการเก็บตัวอย่างในการปั๊มน้ำที่ 300 ลิตร ในแต่ละความถี่เพื่อทำคำนวณหาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน, “แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด”, กุมภาพันธ์ 2558

[2] สายัณห์ ฉายวาส กฤษดา ศรีจันทร์พิยม ปฏิญญา ศักดิ์หวาน และ กนกวรรณ เรืองศิร, “การพัฒนาระบบตรวจสอบและเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟสด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 43, 28- 30 ตุลาคม 2563

[3] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, “รู้จักกับ internet of thing”, https://erdi.cmu.ac.th/?p=1923

[4] ฐิติพงศ์ แดงเรือ, ธนพัฒน์ มณฑาทิพย์, “การควบคุมการเปิดและปิดปั๊มน้ำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรวจจับผลต่างของอัตราการไหล”, วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์,มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2556

[5] วัฒนา นกเที่ยง, สิทธิศักดิ์ จันทร์ทิม, การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยอินเวอร์เตอร์, วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555