บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล

Three-Phase Energy Digital Meter

ยศธร แสนสาร[1] ปิยะกมล สุนทรสมัย[1] คชพงศ์ สุมานนท์[2] นพกฤศณ์ ดำน้อย[2] อรรถพล ช่วยค้ำชู[2] อภิชฎา ทองรักษ์[2] เลอพงษ์ พิศนุย[2]

กมลทิพย์ วัฒกีกำธร[2] และธนะกิจ วัฒกีกำธร[2]

[1]นักศึกษาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: yossaton-s@rmutp.ac.th

[2]อาจารย์วิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: kotchapong.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดเริ่มต้นมาจากการผลิตชิ้นงานที่ทำจากทองเหลือง ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้งานเตาหลอมในการหลอมชิ้นงานขึ้นมา ถ้าค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ระบบระบายความร้อนของเตาหลอมที่สูงขึ้น ทำให้มอเตอร์ระบบระบายความร้อนเตาหลอมเกิดความเสียหายจนต้องชะลอการผลิตจนกว่ามีการซ่อมบำรุงจะดำเนินการเสร็จ จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องวัดเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล หลักการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล ใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสยี่ห้อ Seeedstudio รุ่น 101990064 จำนวน 3 ตัวรับค่ากระแสไฟฟ้ามาจาก เมนไฟฟ้า 3 เฟส และตัวเซ็นเซอร์จะแปลงค่ากระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยส่งไปยังวงจรรวมของ ADE7758 และส่งข้อมูลไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นส่งค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าผ่านพอร์ตอนุกรม RS-485 ไปแสดงผลเป็นกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสชนิดนี้มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 0.103 %

คำสำคัญ: เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ชิปวัดพลังงานเบอร์ ADE7758

Abstract

To start off, this paper deals with the production of brass pieces which necessitates the use of a furnace to melt the brass to create them. If the electric energy of the motor cooling system from the furnace is too high, it can damage the motor system of the furnace. Then, the production must be delayed until the maintenance is completed. Therefore, this idea inspires us to create a digital three-phrase power meter for measuring the electric energy of the motor cooling system. The principle of the digital three-phrase power meter is to use three sensors from “seeed studio brand with series 101990064.” These three sensors gain the electric energy from the main three-phase power, and they can convert the electric current into the voltage by sending to the integrated circuit of ADE7758, and sending to the data to a micro-controller to process. Then, the electric current and the voltage from the micro-controller run across the RS-485 serial port to display the graph on the computer screen. As we can see, the digital three-phase energy meter has an average error of about only 0.103%

Keyword: Three-phase energy digital meter, Three phase energy digital meter chip ADE7758.

1. บทนำ

เนื่องจากการผลิตชิ้นงานที่ทำจากวัสดุทองเหลืองนั้น มีความสำคัญที่ต้องใช้เตาหลอมสำหรับหลอมชิ้นงานขึ้นมา ซึ่งการวิเคราะห์และสังเกตมอเตอร์ระบบระบายความร้อนของเตาหลอม พบว่าระบบดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่าปกติเพราะมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสทำงานเกือบจะตลอดเวลาจึงทำให้ไม่ทราบถึงปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลือง และเป็นสาเหตุทำให้เตาหลอมเกิดความเสียหายและต้องชะลอการผลิตอุปกรณ์จนกว่ามีการซ่อมบำรุงให้เสร็จตามกำหนด

ดังนั้นบทความนี้ได้มีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยสร้างเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล เพื่อแสดงค่า-เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ 3 เฟสของระบบระบายความร้อนของเตาหลอมที่มีคุณลักษณะเด่น คือ แสดงค่า-เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ 3 เฟส ในรูปแบบเวลาจริง (Real time) [1] อีกทั้งยังเครื่องวัดชนิดนี้จะแสดงผลได้อีกทางหนึ่ง คือ แสดงผลที่หลอด 7-Segment

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า

การหาค่าสมการพลังงานไฟฟ้าจะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าจริง (Real power : P) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power : S) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power : Q) ทั้งสามมีปริมาณกำลังที่มีค่าไม่เท่ากัน ส่วนวิธีการหาค่าสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$P = V \times I \cdot \cos\theta \quad (1)$$

$$Q = V \times I \cdot \sin\theta \quad (2)$$

$$S = V \times I \quad (3)$$

$$PF = \cos\theta = P/S \quad (4)$$

เมื่อ θ คือ มุมต่างเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าสลับ

I คือ กระแสไฟฟ้าสลับ (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าสลับ (V)

PF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า (W) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5)

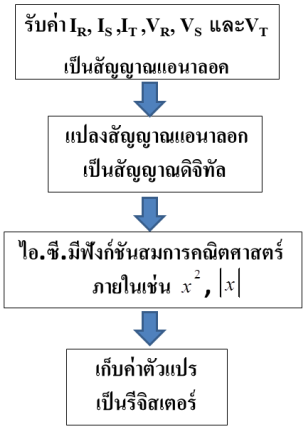
$$W = (V \times I \times t)/1000 \quad (5)$$

เมื่อ W คือ พลังงานไฟฟ้า (kw/hr)

t คือ เวลา (hr)

คุณสมบัติของไอซี ADE7758

ไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าเบอร์ ADE7758 มีหน้าที่เป็นไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าแบบหลายเฟสและมีหลายฟังก์ชันที่มีความแม่นยำสูงอยู่ภายในตัว ไอ ซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ 1 [2],[3]



รูปที่ 1 การทำงานของไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าเบอร์ ADE7758

จากโครงสร้างภายในของ ADE7758 จะประกอบด้วย ส่วนการรับค่าตัวแปรกระแสและแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส เช่น กระแสไฟฟ้าเฟสอาร์ (I_R) กระแสไฟฟ้าเฟสเอส (I_S) กระแสไฟฟ้าเฟสที (I_T) แรงดันไฟฟ้าเฟสอาร์ (V_R) แรงดันไฟฟ้าเฟสเอส (V_S) และแรงดันไฟฟ้าเฟสที (V_T) ตามลำดับ โดยตัวแปรเหล่านี้จะถูกแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล พร้อมทั้งสัญญาณดังกล่าวจะถูกคำนวณด้วยฟังก์ชั่นสมการคณิตศาสตร์ภายใน เช่น x^2, $|x|$ และค่าสัญญาณที่ถูกคำนวณจะเก็บค่าตัวแปรเป็นรีจิสเตอร์ตามลำดับ

การคำนวณรีจิสเตอร์ที่สัมพันธ์กับแรงดัน และกระแสไฟฟ้าใน ADE7758 ได้ใช้หลักการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูล (Fitting-curve) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6) และ (7)

$$Reg_m = m_1(V) + c_1 \quad (6)$$

$$Reg_n = m_2(I) + c_2 \quad (7)$$

เมื่อ Reg_m คือ รีจิสเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า

Reg_n คือ รีจิสเตอร์ของกระแสไฟฟ้า

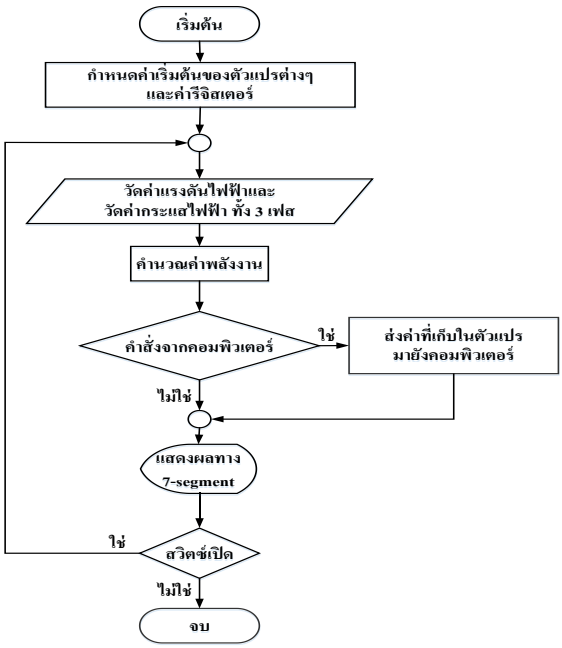
m_1, m_2 คือ เป็นความชันของกราฟ

c_1, c_2 คือ เป็นระยะตัดของแกน y

2.1 หลักการทำงานเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล

หลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าได้ใช้ไอซีตระกูล ADE 7758 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าสลับ อีกทั้งยังมีการแสดงผลออกเป็น 2 ช่องทาง ได้แก่การแสดงผลที่หลอด 7-Segment และการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องวัดนี้สามารถแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 บล็อกหลักการทำงานเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ



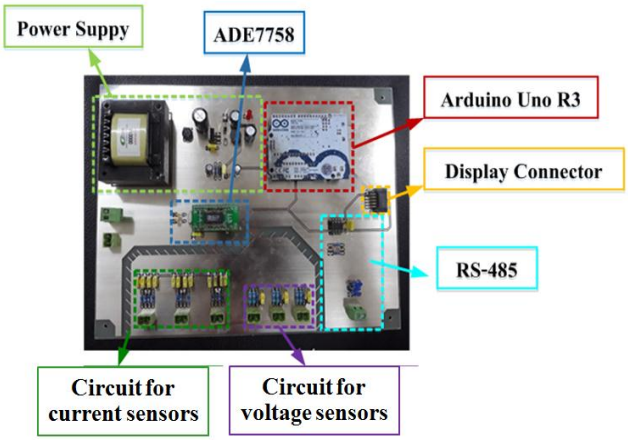
รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล

จากรูปที่ 3 แผนผังหลักการทำงานของชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัล โดยเริ่มจากการกำหนดค่าตัวแปรกระแสและแรงดันไฟฟ้าสลับพร้อมกับค่ารีจิสเตอร์เริ่มต้น ต่อจากนั้นค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า และเก็บค่าที่คำนวณไว้

ในรีจีสเตอร์ นอกจากนี้ส่วนการแสดงผลของตัวเครื่องวัดนี้จะแสดงออกได้ 2 ทาง ได้แก่ แสดงผลผ่านทางหลอด 7- Segment และอีกทางแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ ซึ่งการแสดงผลจะใช้คำสั่งสวิตช์ (switch) ตรวจสอบเงื่อนไขการแสดงผลในตัวโปรแกรม อย่างเช่น กรณีถ้าติดต่อกับคอมพิวเตอร์(ใช่) จะส่งค่าตัวแปรที่เก็บไว้ให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต RS485 แต่ถ้า (ไม่ใช่) จะไปแสดงผลที่หลอด 7- Segment ตามลำดับ

2.2 โครงสร้างของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ

ในรูปที่ 4 วงจรภายในของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอได้มีส่วนประกอบทั้งหมด 7 ส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้ 1. วงจรไอซี ADE7758 วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 2. เซ็นเซอร์วัดกระแส 3.โพรบวัดแรงดัน 4. ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น (Arduino Uno R3) 5 .แสดงผลทาง 7-Segment 6. แสดงผลทางคอมพิวเตอร์ และ 7. วงจรจ่ายไฟตามลำดับ



รูปที่ 4 วงจรภายในของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ

1. วงจรไอซี ADE7758 วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรนี้ทำหน้าที่รับค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่มาจากโพรบวัดแรงดัน และกรองกระแสไปเก็บไว้ในรีจีสเตอร์ จะมีวงจรเซ็นเซอร์วัดกระแส RC Filter จำนวน 3 ชุด ทำหน้าที่ลดกระแสไฟฟ้า ส่งค่ามายังชุดประมวลผลบอร์ด Arduino UNO R3

2. เซ็นเซอร์วัดกระแสแบบขดลวดจำนวน 3 ชุด โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านสายไฟจะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปมา และไปตัดกับขดลวดที่พันรอบแกนแม่เหล็ก ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อต่อกับโหลด ซึ่งใช้วัดได้เฉพาะกระแสไฟฟ้า AC เท่านั้น

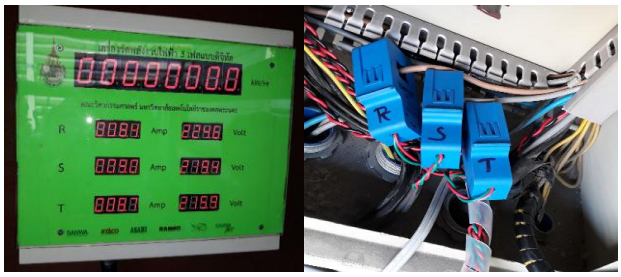
3. โพรบวัดแรงดัน ทำหน้าที่กรองค่ากระแสของแต่ละเฟสที่ผ่านเซ็นเซอร์วัดกระแสของแต่ละเฟสให้มีแรงดันอยู่ที่ 355 mV และไม่เกิน 500 mV เพื่อป้อนสู่ไอซีวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเบอร์ ADE7758

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Uno R3 ทำหน้าที่อ่านค่ากระแส แรงดัน และนำค่าทั้งสองมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลจากไอซี ADE7758

5. แสดงผลทาง 7-Segment ทำหน้าที่แสดงผลค่ากระแส แรงดัน และพลังงานไฟฟ้า จากค่าสัญญาณดิจิทัลจากไอซีที่ถูกวัดค่าพลังงานไฟฟ้ามาแสดงผลผ่านทางหน้าจอบน 7-Segment

6. แสดงผลทางคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่แสดงผลค่ากระแส แรงดัน และพลังงานไฟฟ้า แบบเวลาจริง โดยติดต่อสื่อสารข้อมูลที่พอร์ตอนุกรม RS-485 ซึ่งในโครงงานนี้ได้เชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเข้ากับคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งได้ใช้โปรแกรมแสดงค่า และบันทึกค่าลงบนคอมพิวเตอร์

7. วงจรจ่ายไฟ ทำหน้าที่ จ่ายไฟกระแสตรงให้กับวงจรทั้งหมด ที่ใช้ร่วมกับ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรจอแสดงผล ADE7758 และ วงจร 7-Segment ตามลำดับ

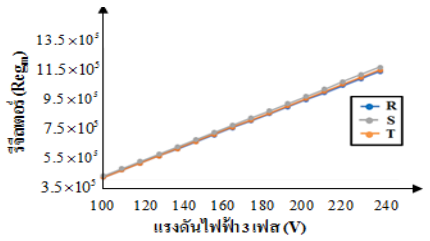


รูปที่ 5 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัลที่สมบูรณ์

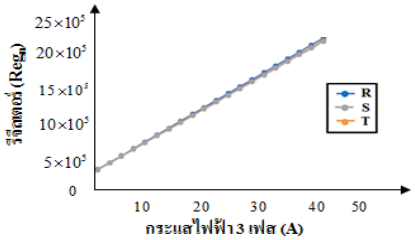
จากรูปที่ 5 เป็นตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัลที่ได้สร้างจริง พร้อมที่จะใช้งานและทดสอบสมรรถนะของตัวเครื่องในหัวข้อถัดไป

3. ผลการทดลอง และการทดสอบเครื่องวัดพลังงานฯ

ในส่วนหัวข้อนี้ได้ใช้สมการที่ (6) และ (7) คำนวณหาเส้นสมการ Reg_m และเส้นสมการ Reg_n เพื่อนำสมการทั้งสองมาเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno R3) ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์รีจีสเตอร์เทียบกับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์รีจีสเตอร์เทียบกับกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 เป็นกราฟเชิงเส้น (linear graph) ระหว่างรีจีสเตอร์เทียบกับค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า โดยผลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจะมีความแม่นตรงขึ้นอยู่กับการกำหนดช่วงรีจีสเตอร์ให้สัมพันธ์กับช่วงแรงดันไฟฟ้า (มอเตอร์ทำงาน) อยู่ระหว่าง 100 ถึง 240 V และกระแสไฟฟ้า (มอเตอร์ทำงาน) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 40 A ตามลำดับ

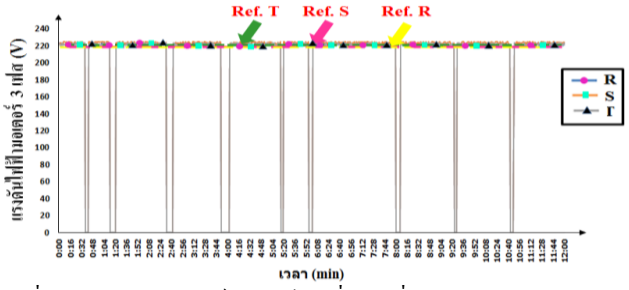
นอกจากนี้ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอเปรียบเทียบกับเครื่องมือสอบเทียบยี่ห้อ Chauvin Arnoux CA รุ่น F 23 ดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อหาความแม่นตรงของพลังงานไฟฟ้าก่อนที่จะนำเครื่องวัดชนิดนี้ไปทดสอบขั้นตอนต่อไป คือ การจดบันทึกแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ภายในสถานที่ของบริษัท อาซาฮี-ไทยอัลลอย จำกัด

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลที่ได้จากดิจิทัลมิเตอร์กับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่เงื่อนไขมอเตอร์ทำงานตลอดเป็นระยะเวลา 3 hr

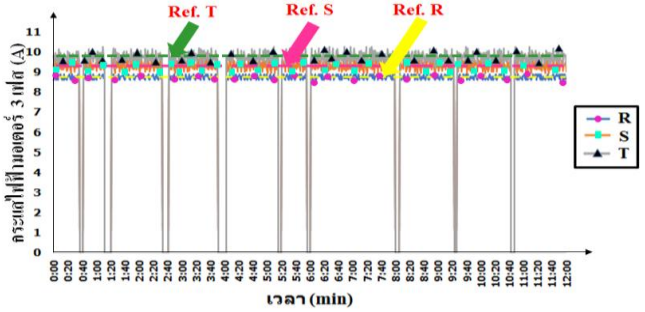
ครั้งที่	พลังงานไฟฟ้าที่วัดจากดิจิทัลมิเตอร์ รุ่น F23	พลังงานไฟฟ้าที่วัดจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าบน 7-Segment	ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
1	18.752	18.745	0.037
2	18.735	18.732	0.016
3	18.705	18.728	0.122
4	18.750	18.705	0.24
ค่าเฉลี่ย	18.735	18.727	0.103

จากตารางที่ 1 ได้ทำการทดลองเป็นจำนวน 4 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.103 % และมีค่าแทบจะใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดดิจิทัลมิเตอร์ รุ่น F23 นอกจากนี้เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้านี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในทางปฏิบัติได้จริงกับระบบระบายความร้อนและยังสามารถเป็นเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าทางวิศวกรรมได้

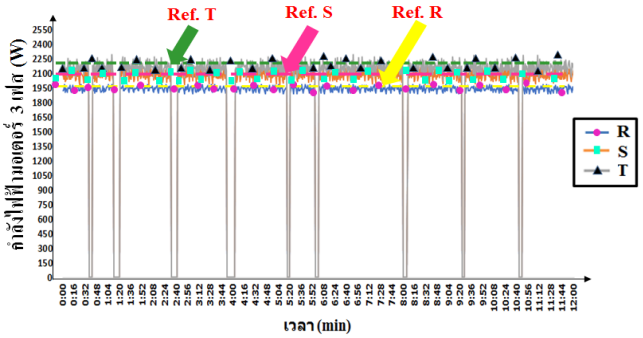
จากรูปที่ 8 , 9 และ10 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องวัดที่นำเสนอ จากการวัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสเทียบกับเวลา โดยในที่นี้มอเตอร์ของโรงงานได้ถูกกำหนดเงื่อนไขออกเป็น 2 เงื่อนไข มอเตอร์ไฟฟ้า (ทำงาน) ที่อุณหภูมิน้ำมีค่า 38 °C สูงกว่าระดับอุณหภูมิน้ำอ้างอิงที่ 37 °C และอีกเงื่อนไขหนึ่งมอเตอร์ (หยุดทำงาน) เมื่ออุณหภูมิน้ำมีค่าต่ำกว่า 37 °C นอกจากนี้เครื่องวัดดังกล่าวได้ถูกตั้งค่าการจดบันทึก แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เป็นระยะเวลาทุกๆ 16 นาที (เริ่มเก็บค่าตั้งแต่เที่ยงคืนจนถึงเที่ยงวัน) ตามลำดับ



รูปที่ 8 แรงดันของมอเตอร์ 3 เฟสด้วยเครื่องวัดที่นำเสนอ (แบบเวลาจริง)



รูปที่ 9 กระแสของมอเตอร์ 3 เฟสด้วยเครื่องวัดที่นำเสนอ (แบบเวลาจริง)



รูปที่ 10 กำลังมอเตอร์ 3 เฟสด้วยเครื่องวัดที่นำเสนอ (แบบเวลาจริง)

ซึ่งผลที่ได้จากการจดบันทึกของเครื่องวัดที่นำเสนอแทบจะมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าอ้างอิงเฟสอาร์ (Ref. R) ค่าอ้างอิงเฟสเอส (Ref. S) และค่าอ้างอิงเฟสที (Ref.T) ตามลำดับ

4. สรุป

จากผลการทดสอบสมรถนะของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟสแบบดิจิทัลเปรียบเทียบกับ ดิจิทัลมิเตอร์ (Chauvin Arnoux CA รุ่น F23):ซึ่งผลที่ได้ของความผิดพลาดสัมพัทธ์ของพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0.103%นอกจากนี้เครื่องวัดชนิดนี้ยังสามารถให้ค่าความแม่นตรงสูงสำหรับการวัดค่า แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเวลาจริงได้อีกด้วย

5, เอกสารอ้างอิง

[1] กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี,“LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาระบบการวัดและควบคุม”, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น,2554.

[2] ADE7758:Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with Per Phase Information [Online]. From : http:// www. analog.com/ static/importedfiles/data_sheets/ADE7758.pdf

[3] การสื่อสารระหว่าง SPI Master และ Slave โดยใช้บอร์ด Arduino [Online]. From : http:// cpre.kmutnb. ac.th /esl/ learning /index.php?article=arduino-spi-master-slave