

ระบบตรวจสอบเฝ้าระวังมอเตอร์ 3 เฟส

3 Phase Motor Healthy Monitoring

กฤษฎา กันทะวงศ์

สาขาเมคคาทรอนิกส์และอัตโนมัติ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Email: krisada@mut.ac.th

ณัฐพงศ์ แพน้อย

สาขาเมคคาทรอนิกส์และอัตโนมัติ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Email: nattapong@mut.ac.th

และ ศศิธร พยัคฆ์ทอง

สาขาเมคคาทรอนิกส์และอัตโนมัติ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Email: sasithorn@mut.ac.th

Manuscript received November 30, 2022

Revised December 22, 2022

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆล้วนมีการใช้งานมอเตอร์เป็นจำนวนมากซึ่งมอเตอร์จะถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องและติดต่อกันเป็นระยะเวลานานมอเตอร์ที่ถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องย่อมจะมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงหรือเกิดความเสียหายขึ้นได้ในขณะที่ใช้งานทำให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตจากสาเหตุนี้จึงมีแนวความคิดในการจัดทำอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้หลักการของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ในแต่ละเฟสเพื่อนำมาตรวจสอบสุขภาพของมอเตอร์และใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุและเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำแผนซ่อมบำรุงรวมถึงลดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตให้มากที่สุด จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่าอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์สามารถทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดคือสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าในย่านต่างๆได้แสดงผลและสามารถส่งข้อมูลเพื่อตรวจสอบแบบไร้สายรวมถึง

สามารถเก็บข้อมูลเพื่อในวิเคราะห์ได้ผ่านทางโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่าย

คำสำคัญ : มอเตอร์ เฟส ตรวจสอบแบบไร้สาย

ABSTRACT

Several motors are currently being put to use in a wide variety of industrial machines. The motor will be utilized continuously for a long period of time and will also be used continuously. Motors that are used continuously will gradually lose some of their efficiency, and there is also a danger that they will be damaged as a result of being operated, which would disrupt the production process. As a result, one possible solution is to create a tool that can evaluate the performance of the motor. By measuring the current passing through each phase of the motor, one may determine the state of the motor and conduct an investigation into its cause. This is a necessary step in the maintenance plan, which also includes reducing the impact on the production process to the maximum

extent possible. According to the results of the research, the equipment that is used to assess the performance of the motor can operate within the following range: It can measure the current in a variety of ranges, display the data, and send it to be checked wirelessly. It can also gather data for analysis with the help of a simple program.

Keywords: Motor, Phase, Check wirelessly

1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ล้วนมีการใช้งานมอเตอร์ เป็นจำนวนมาก ซึ่งมอเตอร์จะถูกใช้งานต่อเนื่องและติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน มอเตอร์ที่ถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องย่อมจะมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง หรือเกิดความเสียหายขึ้นได้ ในขณะที่ใช้งาน ทำให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจจะมีมูลค่าความเสียหายมากขึ้นที่โรงงานจะต้องหยุดกระบวนการผลิตหากมอเตอร์ตัวนั้นเป็นตัวที่สำคัญกับกระบวนการผลิต

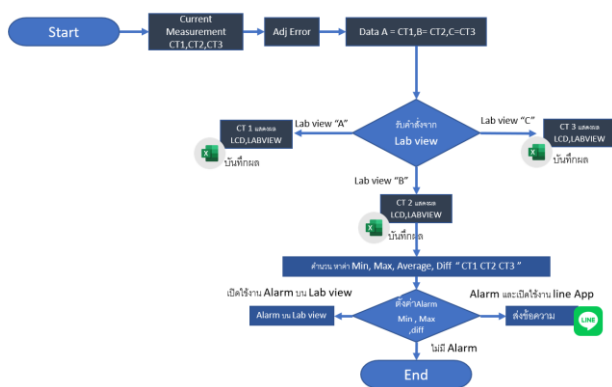
จากที่ผ่านมาได้มีบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์สามเฟส โดยการเฝ้าติดตามอาการที่สามารถขึ้นได้จากส่วนต่างของมอเตอร์เช่น ตลับลูกปืน ขดลวดสเตเตอร์ โรเตอร์บาร์ และอื่น ๆ ที่ไม่ทราบสาเหตุได้ โดยการวิเคราะห์ส่วนใหญ่การเสื่อมประสิทธิภาพของมอเตอร์ในอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มาจากส่วนของตลับลูกปืนมากถึง 40% ซึ่งเกิดจากหมุนต่อเนื่องและเนื่องจากสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดในการทำงาน และอีกปัจจัยหนึ่งมาจากสาเหตุของขดลวดสเตเตอร์ ถึง 38% โดยที่เกิดจากการพันลวดขาด ฉนวนที่เคลือบลวดทองแดงเสื่อมสภาพจึงอาจทำให้ไปสู่การช็อตกันระหว่างขดลวดได้ส่งผลต่อการหมุนตัวของมอเตอร์และปริมาณการกินกระแสแต่ละเฟสที่ไม่สมดุลกัน

สำหรับตัวบ่งชี้สาเหตุที่อาจนำไปสู่การเริ่มเสื่อมสภาพของมอเตอร์โดยใช้สามารถใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัดได้มีดังนี้ 1. การสั่นสะเทือนของตัวมอเตอร์ขณะทำงาน 2. ปริมาณกระแสในขดลวดสเตเตอร์ของแต่ละขด 3. ปริมาณฟลักซ์แม่เหล็กในแนวแกนการหมุน (Axial Magnetic Flux) เพื่อตรวจวัดการรั่วไหลของฟลักซ์

แม่เหล็กและความถี่พื้นฐานของมอเตอร์ 4. การวัดค่าของอุณหภูมิของ ตลับลูกปืน ขดลวดสเตเตอร์ เพื่อกันไม่ให้มอเตอร์ทำงานเกินความสามารถที่วัสดุโครงสร้างของมอเตอร์จะทนได้

ในกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์นั้น จากบทความ [5] ได้อาศัยค่าสถิติของ ค่ากระแส RMS ในขดลวดสเตเตอร์ในการวัดปริมาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลดมากกว่า [6], [7], [8], [9] ได้ใช้การวิเคราะห์เชิงความถี่ (Frequency Analysis) แบบทันเวลา (Real time) โดยใช้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม เพื่อค้นหาความถี่ต่าง ๆ ออกมาโดยปกติจะมีความถี่พื้นฐานที่ทราบอยู่แล้วของมอเตอร์สามเฟสคือ จำนวนโพลของมอเตอร์ ซึ่งถ้ามีความถี่อื่นเข้ามาปนแสดงว่าอาจเกิดจากตัวตลับลูกปืนที่เริ่มเสื่อมสภาพทำให้การหมุนของแกนโรเตอร์ไม่ราบเรียบเกิดความไม่สมดุลของจุดหมุน ทำให้มีการกินกระแสที่มากขึ้น และเกิดการสั่นสะเทือนตามมา [10] ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงความถี่อาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์คือ การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) ซึ่งถ้าใช้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มวิเคราะห์ สเปกตรัมความถี่ออกมาจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับโหลดทางกลเข้ามากระทำต่อมอเตอร์ทำให้มีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้จึงใช้ การแปลงเวฟเลต เพื่อแยกกลุ่มของสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณไซน์ (Sinusoidal) ในการอ้างอิงของการวิเคราะห์ และทำการรวมผลของความถี่อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องให้อยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ (Pulse) และบทความ [11], [12] ได้นำเสนอวิธี พาร์กเวกเตอร์ (Park's Vector) ซึ่งเป็นการคำนวณการสั่นทั้งสามเฟสแบบเวกเตอร์ ซึ่งผลลัพธ์จะให้ค่ากระแส I_d (กระแสควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก) และ I_q (กระแสควบคุมแรงบิด) นำมารวมกันและพล็อตกราฟออกมาเป็นกราฟเชิงพื้นที่โดยซึ่งสามารถอธิบายค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ และ ลักษณะการเยื้องศูนย์การหมุนของมอเตอร์ได้

จากสาเหตุนี้จึงมีแนวความคิดในการจัดทำอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยใช้หลักการของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ในแต่ละเฟส เพื่อนำมาตรวจสอบสุขภาพของมอเตอร์และใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการจะวางแผนซ่อมบำรุง เพื่อลดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตให้มากที่สุด



รูปที่ 1 เรืองไขการทำงานของระบบตรวจสอบเฟ้าระวังมอเตอร์ 3 เฟส

โดยกระบวนการหลักการทำงานของระบบตรวจสอบเฟ้าระวังมอเตอร์ 3 เฟส มีการทำงานโดยเริ่มจากการใช้ Current Transformer ตรวจจับค่ากระแสของมอเตอร์ในแต่ละเฟส ซึ่งมีตัวโปรแกรม LabVIEW ทำการรับค่า คำนวนค่า เก็บบันทึกค่าที่วัดได้ และนำค่าที่บันทึกได้มาแสดงผลบนหน้าจอ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ได้แก่ การสร้างระบบตรวจสอบเฟ้าระวังมอเตอร์ 3 เฟส ด้วยโปรแกรม LabVIEW นอกจากนั้นตัวโปรแกรมสามารถที่จะทำการตั้งค่า การแจ้งเตือนของกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ เพื่อทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งาน ผ่านทาง Line Application

2. การออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้ต้องใช้เซนเซอร์วัดกระแสประเภท CT Current โดยที่นำไปใช้ในการวัดไฟฟ้ากระแสสลับด้วยความสะดวกในการติดตั้งเพราะไม่ต้องต่ออนุกรมกับโหลดจริงและมีพิภักกระแสที่หลากหลายประกอบกับราคาที่ไม่แพงสามารถเพิ่มโหมดการวัดได้ การทดลองนี้จะใช้ CT Current เซนเซอร์วัดกระแสของทีละเฟสของมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งค่ากระแสที่ได้ต้องแปลงเป็นกระแส RMS เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินการทำงานของมอเตอร์ต่อไป

2.1 วงจรปรับแต่งสัญญาณ Current Transformer: CT

ตัวเซนเซอร์ Current Transformer จะมีอยู่ด้วยกันสองแบบให้เลือกใช้งานแบบแรกให้อาห์พุตออกมาเป็นกระแสและแบบที่สองให้อาห์พุตออกมาเป็นแรงดัน(การทดลองใช้เอาห์พุตแบบนี้) ซึ่ง

สัญญาณแรงดันที่ได้ยังอยู่ในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ ทำให้ต้องปรับแต่งสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบของไฟตรง ตามรูปที่ 2 [1] จากรูปจะเห็นว่าตัวต้านทาน Burden ขนาด $33\ \Omega$ เป็นตัวกำหนดขนาดแรงดันออกมาจากเซนเซอร์โดยจะมีขนาดไม่เกิน 1 V ตามกราฟเส้นสีส้มซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณยังมีแรงดันบวกและลบสลับกันการนำไปต่อเข้ากับช่องตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) ไม่สามารถทำได้เนื่องจาก โมดูล ADC รับอินพุตที่ระดับแรงดัน $0 - 3.3\text{V}$, 5V เท่านั้นจำเป็นต้องยกระดับสัญญาณขึ้นไปเพื่อให้เป็นไฟตรง การทำแบบนี้เป็นการปรับค่าออฟเซตแรงดันก่อนเข้าโมดูล ADC โดยการออกแบบค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน ในที่นี้ใช้แรงดันอ้างอิง $3.3\text{-}5\text{V}$ และต้องปรับค่าออฟเซตขึ้นไป เท่ากับ แรงดันอ้างอิง/2 เพื่อยกระดับแรงดันของ CT Current ให้ได้อาห์พุตเป็นไปตามกราฟสีน้ำเงิน

การออกแบบในที่นี้ใช้แรงดันอ้างอิง 3.3V และจากสมการที่ 1 ซึ่งเป็นสมการแบ่งแรงดันสามารถคำนวณค่า R_1 และ R_2 เพื่อให้แรงดันเอาห์พุต 1.65V ได้ดังสมการที่ 1

$$V_o = \frac{R_2 V_{ref}}{R_1 + R_2}$$

(1)

โดยที่ V_o แรงดันเพื่อปรับออฟเซตของ CT –Current

V_{ref} แรงดันอ้างอิงของโมดูล ADC

R_1, R_2 ค่าความต้านทานเพื่อแบ่งแรงดัน

สามารถแทนค่าเพื่อคำนวณหาค่า R_1, R_2 ได้ดังนี้ กำหนด $V_o = 1.65\text{V}$

และ $V_{ref} = 3.3\text{V}$ ทำการแทนค่าเข้าไปในสมการที่ 1 ซึ่งจะได้ อัตราส่วน

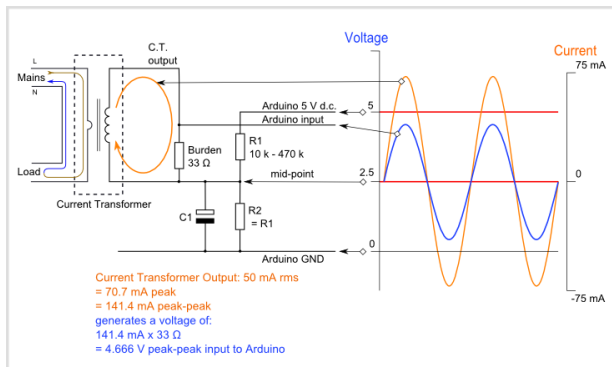
ของค่าความต้านทานได้ดังสมการที่ 2

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1.65}{3.3} = 0.5$$

(2)

โดยเลือกกำหนดค่าความต้านทาน $R_2 = 10\text{k}\Omega$ เพื่อจะหาค่า R_1 แล้วแทนค่ากลับเข้าไปสมการที่ 2 ซึ่งจะได้ค่า $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ สำหรับ $C_1 = 0.1\mu\text{F}$ ใส่เพื่อกรองสัญญาณ

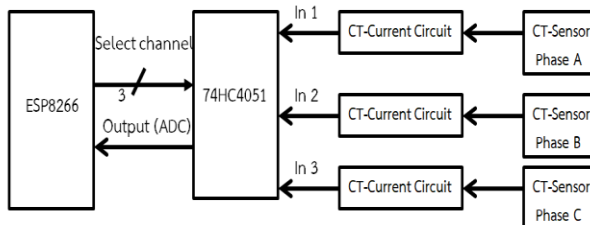
รบกวนควรเป็นตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 2 วงจรปรับแต่งสัญญาณ CT-Current เซนเซอร์

2.3 วงจรสลับสัญญาณแอนะล็อก(Analog Multiplexer)

ในการทดลองนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเป็น ESP8266 ซึ่งมีขาในการใช้งานที่จำกัดและขาที่สามารถอ่านค่า analog ได้มีเพียงช่องเดียว ทำให้ต้องเพิ่มตัวไอซีที่ทำหน้าที่สลับสัญญาณชนิดแอนะล็อกได้ในที่นี้ใช้ 74HC4051[2] ซึ่งสามารถอ่านค่า analog อินพุตได้สูงสุด 8 ช่องซึ่งสามารถนำต่อร่วมกับ CT - Current และ ESP8266 ได้ดังรูปที่ 3

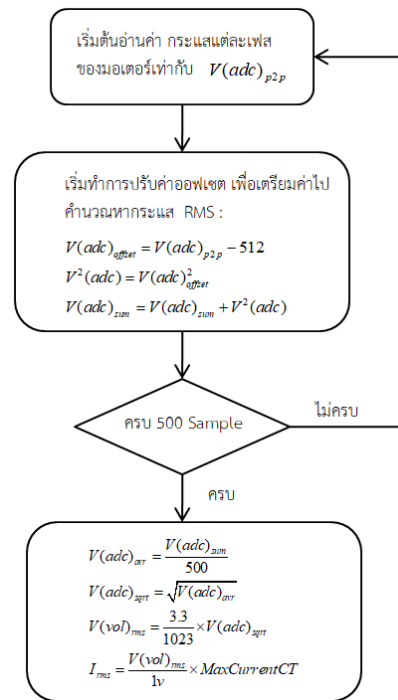


รูปที่ 3 วงจร CT-current เชื่อมต่อ 74HC4051

2.2 การคำนวณค่ากระแส RMS

ในทางปฏิบัติค่าความละเอียดของ ADC โมดูล ESP8266[3] จะมีความละเอียด 10 บิต หรือมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1024 ซึ่งค่าที่วัดได้จะต้องลบด้วยเลข 512 (ค่าความละเอียดสูงสุดของ ADC/2) เนื่องจากค่าที่วัดได้เป็นค่ามีออฟเซตจากวงจรแบ่งแรงดันโดยสัญญาณจะถูกยกกระดบแรงดันขึ้นเท่ากับ 1.65V (แรงดันอ้างอิง/2) ตรงจุดนี้จะไม่มีการแอฟและสำหรับค่ากระแสที่วัดได้จะอยู่ในรูป

แรงดัน Peak to Peak Voltage ซึ่งจะต้องแปลงให้อยู่ในรูปกระแส RMS โดยแสดงขั้นตอนการคำนวณกระแส RMS หนึ่งเฟส ตามรูปที่ 4 ดังนี้

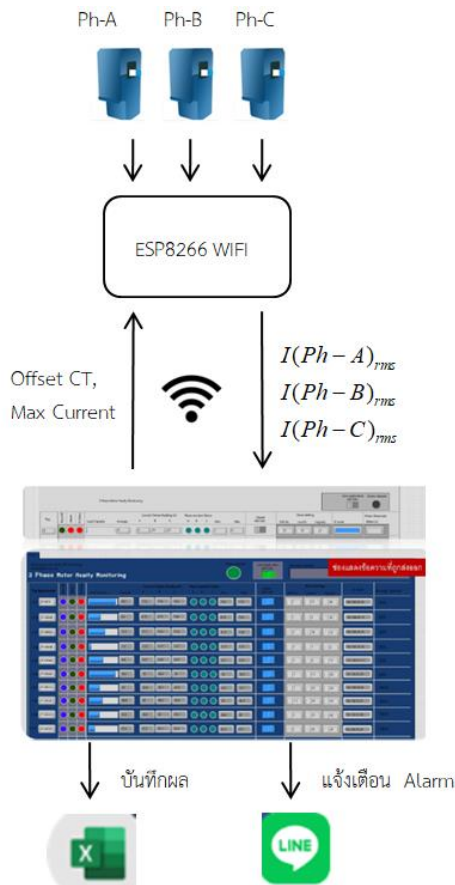


รูปที่ 4 ขั้นตอนการคำนวณกระแส RMS ที่ sampling time 20ms

2.4 ส่วนควบคุมเพื่อติดต่อ ESP8266 ด้วยสัญญาณ WIFI

เนื่องจากตัวโมดูล ESP8266 มี WIFI มาอยู่ในตัวมีขนาดเล็ก กินพลังงานต่ำและราคาไม่แพง พร้อมกับมีโปรแกรมที่คอยช่วยจัดการทางด้านการสื่อสาร WIFI ให้ทำให้การพัฒนาโปรแกรมด้านอินเทอร์เน็ตเพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบเน็ตเวิร์กอื่นๆ ทำได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น ในที่นี้กระบวนการทำงานตัวโหนด ESP8266 จะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบมาให้ใช้งานในรูปแบบของกราฟฟิกโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวพัฒนาขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกและตัวกราฟฟิกที่สวยงาม จึงนำมาใช้ในการออกแบบจากรูปที่ 5 สำหรับภาพรวมของการควบคุมตัวโหนด ESP8266 จะต้องมีการส่งคำสั่งเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ในการวัดกระแส คือ ค่าออฟเซต และ ค่า Max CT- Current ของ CT Current เซนเซอร์แต่ละเฟสในการทดลองนี้จะใช้ค่าพิกัดเดียวกันในการทำทดลองแต่ละครั้งและ ตัวโหนด ESP8266 จะส่งกระแส RMS มาทั้งสามเฟสผ่านสัญญาณ WIFI มายังผู้ใช้งานเพื่อการเก็บแ่งเดือนและนำ

ข้อมูลไปวิเคราะห์ที่ได้เกี่ยวกับการกินกระแสของมอเตอร์กระแสสลับต่อไป



รูปที่ 5 ขั้นตอนการส่งข้อมูลจากโหนด ESP8266 ผ่าน WIFI

ในทางปฏิบัติจริงทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนเซนเซอร์ CT ถึงแม้จะมีฟังก์ชันกระแสเท่ากันจะต้องมีการปรับค่าออฟเซตใหม่ทุกครั้ง และควรเลือกฟังก์ชันของ CT – Sensor ให้เหมาะสมกับงานที่จะวัดซึ่งจะทำให้มีความละเอียดการวัดมากขึ้นสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสที่โหลดใช้จริงในขณะปัจจุบัน

2.5 การสอบเทียบและปรับแต่งค่าการวัด

สำหรับผลการทดลองที่ได้จะต้องมีการสอบเทียบกับอุปกรณ์วัดกระแสมาตรฐาน มิเตอร์ Fluke 337[4] เป็นตัวสอบเทียบความถูกต้องกับค่าที่วัดได้จริงจาก CT เซนเซอร์สำหรับการปรับแต่ง ใน

การทดลองนี้จะใช้สมการเส้นตรงในการสร้างสัญญาณกระแส RMS ขึ้นโดยที่ค่าออฟเซตเป็นศูนย์โดยจะปรับค่าความชันแทนในการทดลองนี้เรียกว่า Kfactor แทนเมื่อทดลองปรับและชดเชยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยสมการที่ 3 นี้

$$Y = 1.1933X \quad (3)$$

โดยที่ Y เป็นกระแส RMS หลังผ่านสมการเส้นตรง

X เป็นกระแส RMS ที่วัดจาก CT เซนเซอร์

$$Kfactor = 1.1933$$

เมื่อนำสมการที่ 3 นี้ไปทดลองปรับค่าการวัดของ CT เซนเซอร์พิกัด 100A ได้ค่าความผิดพลาดที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับก่อนและหลังการปรับค่า Kfactor ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองปรับค่า Kfactor=1.1933

ลำดับจุดทดสอบ	% จุดทดสอบของย่านการวัด 100A	มิเตอร์มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย CT1,CT2,CT3	ค่าความผิดพลาด (%)	จำนวนการปรับ Error	จำนวนค่าหลังการปรับ (A)	จำนวนค่าความผิดพลาด (%)
1	0	0	0.0	0	ตามสมการ	0.04	0.0
2	27	27.1	19.5	-7.2	ค่าหลังการปรับ (Y) =	23.22	-3.9
3	50	49.6	44.2	-4.8	1.1933 x ค่าก่อนการปรับ	52.71	3.1
4	79	78.9	68.4	-9.8	คือ ค่าเฉลี่ย CT1, CT2, CT3(X)	81.59	2.7
5	98	97.8	79.5	-17.1		94.90	-2.9

3. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 3 Phase Motor Healthy Monitoring ส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานโปรแกรม LABVIEW เพื่ออ่านค่ากระแส มีความเสถียรภาพและสามารถใช้งานในช่วงรัศมี 0-50 เมตร จากจุดวัด โดยใช้ Wi-Fi hotspot เป็นจุดกลางในการรับส่งสัญญาณ แต่เมื่อการทดสอบโดยเพิ่มระยะทางออกไปมากกว่า 60 เมตร เสถียรภาพในการรับ-ส่งข้อมูลของอุปกรณ์ลดลง เรื่อย ๆ ตามระยะทางจนไปถึงระยะ 70 เมตร และสามารถเก็บข้อมูลเพื่อไปวิเคราะห์ได้ ผ่านทางโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่าย ประกอบกับการปรับแต่งค่า Kfactor ที่เหมาะสมตามตารางที่ 1 ทำให้ได้ข้อมูลปริมาณกระแสแต่ละเฟสที่มอเตอร์ดึงไปใช้งานในเวลาปัจจุบันได้ถูกต้องเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมิเตอร์มาตรฐาน โดยในตอนนี้อาจจะ

ยังเกิดค่าความผิดพลาดเนื่องมาจากตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดที่มีราคาสูง ทำให้การปรับแต่งค่าเกน Kfactor ที่ใช้วัดเพียงค่าเดียวนั้นไม่สามารถใช้กับ CT ของเฟสอื่นได้ โดยในการแก้ไขจะต้องหาค่าเกน Kfactor ของแต่ละเฟสแทนก็สามารถทำให้ค่าที่วัดจะเกิดความผิดพลาดน้อยลง

4. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเก็บข้อมูลการกินกระแสของมอเตอร์กระแสสลับชนิด 3 เฟสนั้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะการทำงานของมอเตอร์ว่ายังคงทำได้ตามพิกัดของมอเตอร์เองหรือไม่ เพราะเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานไปนาน ๆ โดยต้องขับโหลดอยู่ตลอดเวลาอาจจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงซึ่งถ้าเสียหยาระหว่างกระบวนการผลิตจะส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้า ดังนั้นถ้าสามารถประเมินได้ว่ามอเตอร์ตัวนี้สามารถทำงานได้อีกเท่าไรก็สามารถวางแผนซ่อมบำรุงได้ทันทีโดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตเพราะกำหนดช่วงเวลาที่ไม่ตรงกับวันที่ผลิตสินค้า

ซึ่งการทดลองนี้ได้สนใจตัวแปรกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบโดยตรงที่สามารถนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ได้เพราะถ้ามอเตอร์ที่ใช้งานมีประสิทธิภาพดีนั้นอัตราการดึงกระแสในกรณีที่ใช้โหลดเท่ากันจะต่ำกว่าตัวที่ประสิทธิภาพต่ำกว่าอันเนื่องมาจากสาเหตุที่สำคัญเช่นเกิดแรงเสียดทานที่จุดหมุนต่าง ๆ ของมอเตอร์ทำให้เวลาเริ่มทำงานมอเตอร์จะดึงกระแสสูงเพื่อชนะแรงบิดของตัวเอง (Stall Torque) และเมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเกิดความร้อนสะสมในขดลวดส่งผลให้ค่าความต้านทานขดลวดมากขึ้นทำให้การนำกระแสลดลงและทำให้การสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำของระหว่าง Stator และ Rotor ไม่สัมพันธ์กันทำให้การหมุนไม่ราบเรียบ เพราะค่าสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำลดลงและเมื่อความสะสมมากขึ้นสารที่ใช้เคลือบขดลวดจะละลายและจะลัดวงจรในที่สุดซึ่งจะเกิดความสูญเสียมากขึ้น ในการทดลองสามารถเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ตลอดเวลาและแบบทันทีโดยไม่ต้องอยู่หน้างานเพราะสามารถส่งข้อมูลไร้สายผ่าน WIFI ซึ่งมีความสะดวกในเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ CT เซนเซอร์วัดกระแสแต่ละเฟสและทำการสอบเทียบกับอุปกรณ์วัดกระแสมาตรฐานผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียงเพียงพอสถาบันนำไปใช้งานได้เบื้องต้น ซึ่งถ้าต้องการความแม่นยำมากขึ้นจะต้องทำการเพิ่มตัวกรองชนิดความถี่ต่ำผ่าน

(LPF) เข้าไปเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50Hz ของไฟกระแสสลับ และเพิ่มวงจรขยายสัญญาณให้กับ CT เซนเซอร์เพราะแรงดันที่ออกมาเพียง 1V ซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อมในสายไฟจึงไม่สามารถส่งในระยะทางที่ไกลได้ ดังนั้นระยะทางระหว่าง CT เซนเซอร์และโมดูล ESP8266 ควรจะต้องอยู่ห่างกันเพราะอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรบกวนได้ง่ายจากสนามแม่เหล็กภายนอก กรณีนี้ถ้าใกล้มอเตอร์จนเกินไปจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณ WIFI ที่อาจจะถูกรบกวนได้ ดังนั้นการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์หน้างานควรคำนึงตำแหน่งการติดตั้งเอาไว้ด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ นายสุภณัฐ นุชรักษา และ นายอภิวัฒน์ สุขกระจำง นักศึกษาศาสาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและแมคคาทรอนิกส์ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino?redirected=true>.
- [2] <https://www.digikey.co.th/th/products/detail/texas-instruments/CD74HC4051M96/555818>.
- [3] <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>.
- [4] www.myflukestore.com/product/fluke_337_trms_1000_amp_ac_dc_current_clamp_meter.
- [5] C.M. Riley, B.K. Lin, T.G. Habetler and G.B. Kliman, "Stator Current Harmonics and their Causal Vibrations: A Preliminary Investigation of Sensorless Vibration Monitoring Applications," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 35, no. 1, Jan./Feb. 1999, pp. 94-99.
- [6] A. Bellini, F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni and G.B. Kliman, "Quantitative Evaluation of Induction Motor Broken Bars by Means of Electrical Signature Analysis," IEEE Trans. On Ind. Appl., vol. 37, no. 5, Sep./Oct. 2001, pp. 1248-1255.
- [7] M.E.H. Benbouzid, "A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection," IEEE Trans. on Ind. Electronics, vol. 47, no. 5, Oct. 2000, pp. 984-993.
- [8] S. Nandi and H.A. Toliyat, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines – A Review," IEEE Ind. Appl. Society Annual Meeting, 1999.
- [9] P. Vas, "Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines," Clarendon Press, Oxford, 1993.
- [10] K. Kim and A. G. Parlos, "Induction Motor Fault Diagnosis Based on Neuropredictors and Wavelet Signal Processing," IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol. 7, no. 2, Jun. 2002, pp. 201-219.
- [11] A.J.M. Cardoso and E.S. Saraiva, "Predicting the Level of Airgap Eccentricity in Operating Three-Phase Induction Motors, by Park's Vector Approach," IEEE Ind. Appl. Society Annual Meeting, vol. 1, 1992, pp. 132-135.
- [12] S.M.A. Cruz and A.J.M. Cardoso, "Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Synchronous and Asynchronous Motors, by the Extended Park's Vector Approach," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 37, no. 5, Sep./Oct. 2001, pp. 1227-1233.



นายกฤษฎา กันทะวงศ์ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท สาขาวิศวกรรมระบบวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร งานที่สนใจ Robust Control and Filtering, Embedded system



ศศิธร พยัคฆ์ทอง จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท วิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี พ.ศ.2557 และ 2560 งานวิจัยที่สนใจคือ การออกแบบและควบคุมอุปกรณ์ปลายแขนหุ่นยนต์



ณัฐพงศ์ แพนน้อย จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท วิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี มหานคร ปี พ.ศ. 2555 และปี 2564 งานวิจัยที่ สนใจคือเจเนติก อัลกอริทึม