

การพัฒนาระบบติดตามและป้องกันความผิดปกติขณะมอเตอร์ทำงาน ด้วยแพลตฟอร์มของเน็ตพาย

Fault Detection and Protection Development while Motor Working with Platform of NETPIE

กิตติภูมิ เรืองฤทธิ์^{1*}, นัฐวุฒิ ชยวานิช², เชิดชัย ประภาณวรัตน์² และ เอกชัย มุจจินทวีมุติ²

Kittiphumir Rueangrit^{1*}, Nattavut Chayavanich², Cherdchai Prapanavarat² and Ekkachai Mujjalinvimut²

^{1*} นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรุงเทพมหานคร 10160

² อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรุงเทพมหานคร 10160

* ผู้นิพนธ์ประสานงานโทรศัพท์ 064-425-6195 อีเมล :kittiphumir@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 25 ตุลาคม 2563 / วันที่แก้ไขบทความ: 19 มิถุนายน 2563 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 20 มิถุนายน 2563

บทคัดย่อ บทความนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย ในการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการทำงานผิดปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เฟสหาย ภาระเกิน อุณหภูมิขดลวดเกิน ความสั่นสะเทือนเกิน โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสจำนวน 3 ชุด วัดค่ากระแสไฟฟ้าสายจำนวน 3 ชุด วัดค่าอุณหภูมิขดลวด 1 ชุด ความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ 1 ชุด ส่วนตัวประมวลผลใช้โหนด เอ็มชียู ESP8266 คู่ร่วมกับไอซีเบอร์ MCP3008 ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์ทั้ง 8 ช่องสัญญาณเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต ส่วนภาคการป้องกันใช้แมกเนติกเป็นตัวตัด/ต่อวงจรกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ขนาด 1 กำลังม้า, 380V ต่อแบบ Y ขั้นตอนการทดสอบใช้มอเตอร์ที่ทดสอบต่อกับปลั๊กกับชุดเทอร์มินัลเตอร์ยี่ห้อ Terco MV1025 จากนั้นทดสอบสภาวะการทำงานแบบปกติและแบบผิดปกติทั้ง 7 ชนิด นอกจากการทดสอบแบบการป้องกันการผิดปกติแล้ว ยังได้มีการทดสอบการติดตามการทำงานโดยใช้ไฟของแพลตฟอร์มเน็ตพาย ผลการทดสอบการป้องกันการการทำงานแบบผิดปกติ เครื่องป้องกันที่พัฒนาดังกล่าวนี้นี้สามารถทำงานได้สมบูรณ์ทุกๆ เงื่อนไข ส่วนประโยชน์ที่ได้นั้นสามารถป้องกันความเสียหายของมอเตอร์ขณะทำงาน สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงสายการผลิต ซึ่งหมายถึงการรักษาสถิติสภาพการผลิตให้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย, ความสั่นสะเทือนเกิน, โหนด เอ็มชียู ESP8266,

Abstract The paper presents a feasibility study of the Internet of Things applications by using a cloud server to prevent damages caused by an abnormal operation of a 3-phase induction motor. The damages that may cause from the abnormal operations of the

induction motor are classified into 7 types: over voltages, under voltages, unbalanced voltages, single phasing, overloads, over winding temperature, and over vibration. The measurement sensors include 3 sets of phase voltage sensors, 3 sets of wire current sensors, 1 set of a winding temperature sensor, and 1 set of a motor vibration sensor. For a processing unit, the ESP8266 NodeMCU is connected to an MPC3008 which is to convert analog signals out of the 8-channel sensor signal processors into a 10-bit digital value. For the protection, a magnetic trip of power circuits is used for the 1 HP, 380V induction motor in three-phase Y connection. In testing procedures, the motor was connected to a Terco MV1025 torque meter via a coupling. The tests were carried out to determine the 7 types of normal and abnormal operating conditions. Apart from the protection of abnormalities, the monitoring operations were also tested by using the NETPIE FEED. The results of the tests in abnormal operations revealed that the developed protecting device performed its operations completely in all conditions, whereas it was advantageous to protect the motor damages while operating, and plan to maintain a production line for reliable production stability.

Keywords : Internet of thing, Cloud server of NETPIE, Over voltage, Node MCU ESP8266,

1. บทนำ

มาตรฐานที่ใช้กำหนดรูปการเกิดฟอลต์ในกรณีที่เป็นแบบระยะเวลานานมากกว่า1นาทินั้น ค่าแรงดันต่ำเกินมีค่า 0.8pu ถึง 0.9pu และแรงดันสูงเกินมีค่า 1.1pu-1.2pu ส่วนแรงดันไม่สมดุลที่สถานะคงตัวมีค่า 0.5%-2% [1] ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Annette Von Jouanne และ Ben Banerjee [2] ได้ศึกษาผลกระทบของอายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ โดยได้มีการทดสอบเทียบกับการจำลองเพื่อคำนวณหาอายุการใช้งาน ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าที่ %voltage change เท่ากับ 10 และ modulation frequency 35Hz มีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด งานวิจัยของ P.Pillay และ M.Manyage [3] ทำการทดสอบในเรื่องของความร้อนของขดลวดมอเตอร์ โดยมีสาเหตุอัน

เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเกิดแรงดันต่ำเกิน แรงดันสูงเกิน และแรงดันไม่สมดุล โดยได้มีการทำนายค่าอายุการใช้งานจากสมการ Arrhenius' กับจำนวนของขดลวดมอเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งผลการทดสอบค่าสูญเสียที่แกนเหล็กมี 3 กรณี ได้แก่ ที่แรงดันเกิน 10% แรงดันต่ำเกิน 10% และแรงดันไม่สมดุล 5 % ผลที่ได้ค่าสูญเสียที่แกนเหล็กที่เกิดแรงดันเกิน10% มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นแรงดันไม่สมดุล และแรงดันต่ำเกิน เรียงตามลำดับ และเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์อายุที่สูญเสีย(%Loss of Life)เมื่อมอเตอร์ทำงานที่พิกัดที่เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุลสูง ๆ เช่นที่ 5 % ค่าอายุที่สูญเสียจะได้ค่าที่ 0.81% มากกว่าที่ เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุลต่ำๆ ค่าเปอร์เซ็นต์ อายุที่สูญเสียนี้จะแปรผกผันกับอายุการใช้งาน ซึ่งหมายถึงกรณีที่เปอร์เซ็นต์ค่าอายุที่สูญเสียมาก จะทำให้อายุการใช้งานของ

ณ นวนน้อยลง ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Arrhenius งานวิจัยของ A. Boglietti และคณะ [4] เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการไหลของเครื่องมือไฟฟ้าแบบหลายเฟส โดยมีการทำงานภายใต้เงื่อนไขความผิดปกติแบบขดลวดเฟสถูกเปิดวงจร โดยการทดสอบได้มีการเปิดวงจรออกแบบ 1, 2, 3, 4 ชุด จากนั้นดูผลกระทบในเรื่องของอุณหภูมิของขดลวด ซึ่งผลที่ได้แบบทำงาน 1 ชุด มีค่าอุณหภูมิขดลวดสูงสุด Bon-Gwan Gu [5] ได้นำเสนอโมเดลฟอลต์แบบขดลวดลัดรอบ (interturn fault (ITF)) สำหรับมอเตอร์เชิงโรตารีแม่เหล็กถาวร (IPMSMs) โดยมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของความผิดพลาดแบบออนไลน์ การทดลองได้มีการลอกเลียนแบบการลัดรอบขดลวดที่ขดลวดต่อแบบอนุกรมและต่อแบบขนาน โดยมีการต่อแทปลวดตัวนำออกมาข้างนอกจำนวน 2 แทป โดยที่ปลายตัวนำทั้งสองแทปนั้นจะต่อเข้ากับสวิตช์เพื่อใช้ตัด/ต่อจำลองสถานการณ์การเกิดลัดรอบ แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทานขดลวดต่อความเร็วรอบมอเตอร์ต่างๆ ซึ่งผลวิธีดังกล่าวจะช่วยในการวินิจฉัยการเกิดฟอลต์ได้ ส่วนสาเหตุหนึ่งของการเกิดฟอลต์ประเภทนี้อาจเกิดจากตัวนำทองแดงเกิดความร้อนสูงจนฉนวนเสื่อมสภาพแล้วทำให้ขดลวดที่พันอยู่ใกล้ชิดกันเกิดการสัมผัสกันได้ ในงานวิจัยของ E. L. Brancato [6] ได้แสดงขีดจำกัดของอุณหภูมิฉนวนมอเตอร์ที่คลาสต่างๆ A, B, F, H, H' ประเมินที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดอุณหภูมิฉนวนมอเตอร์ที่คลาสต่างๆ

Class	Maximum temperature	Temperature rise
A	105	65
B	130	90
F	155	115
H	180	140
H'	220	180

I.Y. Onel และ คณะ [7] เป็นงานวิจัยที่ต้องการตรวจจับการเสื่อมสภาพของฉนวนถูกป็น โดยมีการเปรียบเทียบเทคนิคการวินิจฉัยสองวิธี ได้แก่ วิธีการแปลงรูปแบบการแปลงพาร์กและการแปลงคอนคอร์เดีย โดยทดสอบเชิงทดลองบนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองขั้วขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวิธีการแปลงรูปแบบการแปลงพาร์กจะมีผลการวินิจฉัยที่ดีกว่า ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะใช้เซนเซอร์ตรวจจับกระแสของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แล้วใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติของแบร์ริง C. Verucchi และคณะ [8] เป็นการทดลองตรวจจับข้อบกพร่องในกลองเกียร์ที่ต่อคัปปลิ้งกับด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

บทความนี้ได้ศึกษาในเรื่องการตรวจจับฟอลต์กลองเกียร์แบบที่ใช้ลดความเร็วรอบหรือเพิ่มความเร็วรอบ โดยกลองเกียร์ได้ต่อคัปปลิ้งกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยวิธีทั่วไปจะวินิจฉัยวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือน ในบทความนี้ได้ใช้การตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์เพื่อหาค่าแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ค่าสเปคตรัมที่เกิดขึ้น

R. Bayindir และคณะ [9] เป็นงานวิจัยนี้เป็นการนำ PLC มาใช้ในการป้องกันฟอลต์ชนิดต่างๆ เช่น แรงดันต่ำเกิน แรงดันสูงเกิน แรงดันไม่สมดุล กระแสเกิน และติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยมีตัวเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าจำนวน 3 ตัว เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้าจำนวน 3 ตัว ค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้งสองชนิดเป็นค่าประสิทธิภาพ (rms) จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันกระแสตรงป้อนเข้าสู่ภาคอินพุต PLC และยังมีเซนเซอร์ความเร็วรอบมอเตอร์แบบเอ็นโคเดอร์ป้อนเข้าสู่ PLC ภาคเอาต์พุต PLC จะถูกนำไปขับเคลื่อนรีเลย์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อมอเตอร์ นอกจากนี้ PLC ยังสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 I. Colak และคณะ [10] ได้นำเสนองานวิจัยเป็นการนำบอร์ด DAQ มาใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับ

การควบคุมและติดตาม โดยได้มีการนำเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า วัดแรงดันไฟฟ้า วัดอุณหภูมิมอเตอร์ และวัดความเร็วรอบมอเตอร์ ภาคเอาต์พุตบอร์ด DAQ จะถูกนำไปขับเคลื่อนสรีร์เลย์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อมอเตอร์ นอกจากนี้ สิริวิช และประสิทธิ์ [11] จากงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบเฝ้าติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า เหนียวนาชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of thing) โดยใช้เซนเซอร์แรงดันไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบมอเตอร์ อุณหภูมิขดลวดและความเร็วรอบมอเตอร์ ใช้โหนด เอ็มชียู ESP8266 และใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย โดยจะมีการตรวจสอบฟอลต์ได้แก่ เฟสหาย แรงดันไม่สมดุล แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน ภาระเกิน อุณหภูมิขดลวดสูงเกิน ในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นความแตกต่างความใหม่ระหว่างงานวิจัยในอดีตไปจนถึงงานวิจัยที่นำเสนอ

ตารางที่ 2 ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยในอดีตและวิจัยที่นำเสนอ

งานวิจัยอ้างอิงและงานที่นำเสนอ										
ประสิทธิภาพที่สามารถทำได้	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	งานวิจัยที่นำเสนอ
1.ความผิดปกติแรงดันต่ำเกิน	/						/		/	/
2.ความผิดปกติแรงดันสูงเกิน	/						/		/	/
3.ความผิดปกติแรงดันไม่สมดุลย์	/						/		/	/
4.ความผิดปกติกระแสเกิน							/		/	/
5.ความผิดปกติเฟสหาย									/	/
6.ความผิดปกติอุณหภูมิสูงเกิน	/	/	/	/				/	/	/
7.เกิดการสั้นสละเทือนมากเกินไป										/
8.แสดงค่าสถานะแบบออนไลน์									/	/
9.มีความคุ้มค่าในการลงทุน									/	/
10.มีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติ					/	/		/	/	/
11.มีการอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติ								/	/	/

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมด เห็นได้ว่างานวิจัยของ สิริวิช และ ประสิทธิ์ [11] เป็นงานที่นำเทคโนโลยีด้าน IOT มาประยุกต์ใช้ แต่ยังไม่ครอบคลุมฟอลต์ที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินงานต่อยอดจากงานวิจัยดังกล่าว โดยเพิ่มรูปแบบของฟอลต์

ประเภทความสั้นสละเทือนเกิน ซึ่งเป็นฟอลต์ชนิดหนึ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากและในตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบงานวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงงานวิจัยที่ส่งเหตุได้จาก เครื่องหมายถูกต้องแสดงให้เห็นถึงงานวิจัยที่งานวิจัยนั้นสามารถทำได้ และแสดงให้เห็นถึง

ประสิทธิภาพของงานวิจัยที่ได้นำเสนอว่าสามารถตรวจจับความผิดปกติได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการออกแบบตัวอุปกรณ์ต่างๆมีราคาถูกสามารถหาซื้อได้ตามเว็บไซต์ และง่ายต่อการบำรุงรักษา

2. ทฤษฎี

การกำหนดช่วงข้อมูลของความผิดปกติที่กระทำต่อมอเตอร์

มาตรฐานการวัดค่าความสั่นสะเทือนสำหรับ

เครื่องจักรกลหมุน โดยจะถูกกำหนดโดยมาตรฐานสากล องค์การมาตรฐาน ISO - 2372 (10816) แบ่งเป็นเกณฑ์การพิจารณา 4 ลักษณะ (4Class) Class ที่ 1 กำลังน้อยกว่า 15 kW Class ที่ 2 กำลังมากกว่า 15 kW Class ที่ 3 กำลังมากกว่า 100 kW Class ที่ 4 กำลังมากกว่า 15 kW [12] จากตารางที่ 2 แต่ละลักษณะจะมีการแบ่งโซนการยอมรับแรงสั่นสะเทือนคือ A หมายถึง ระดับดี (good) B คือพึงพอใจ (satisfactory) C คือ ไม่พึงพอใจ (unsatisfactory) D ไม่ยอมรับ (unacceptable) แสดงในตารางที่ 3

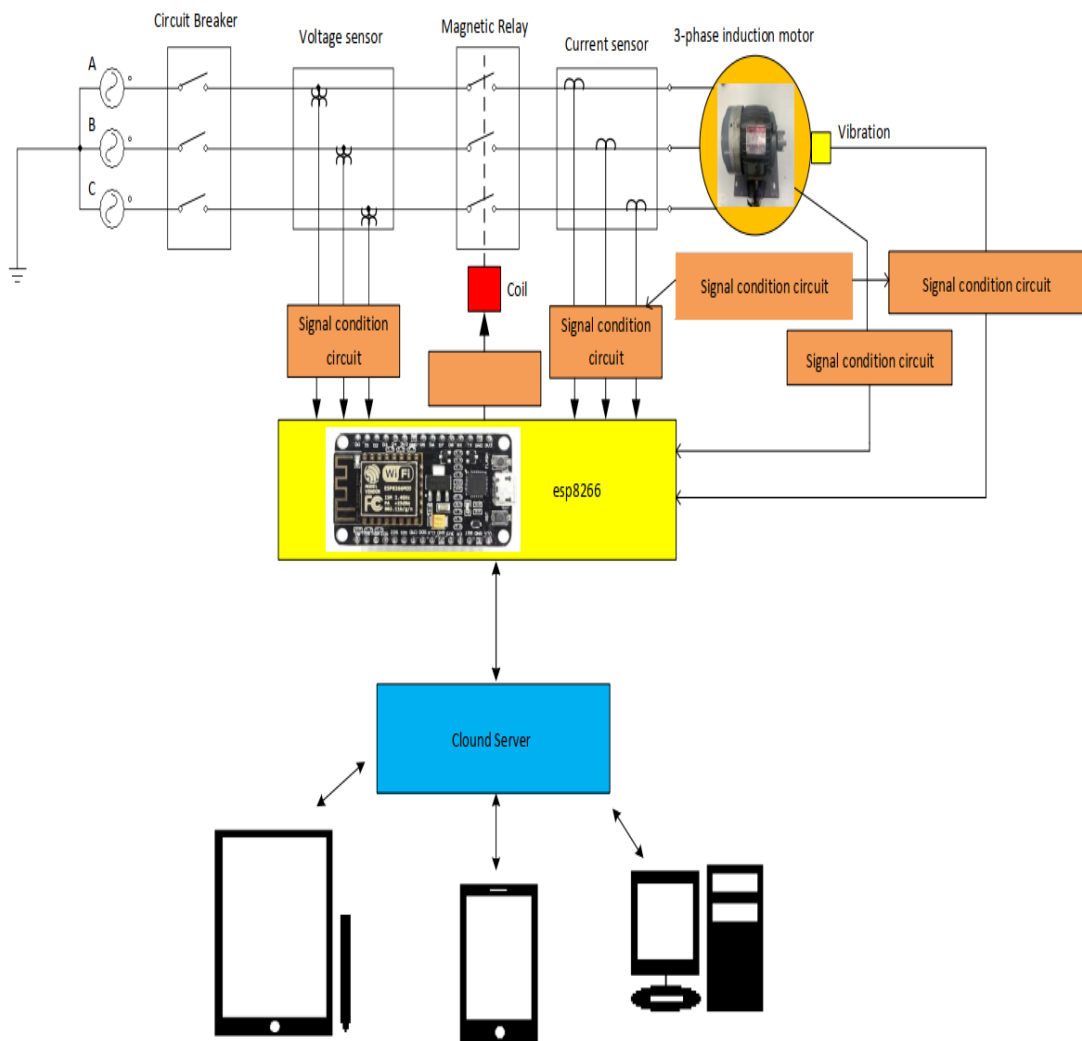
ตารางที่ 3 โซนการสั่นสะเทือนในระดับต่างๆ

VIBRATION SEVERITY PER ISO 1816						
Machine			Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid machines	Class IV large soft foundation
In/s		mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.20				
	0.70	18.00				
	0.71	28.00		Vibration causes Damage		
	0.10	45.00				

3. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลอง

3.1 การออกแบบ

ในบทความนี้ได้มีการออกแบบชุดทดลองทั้งตัวตรวจับกระแสไฟฟ้า ตัวตรวจับแรงดันไฟฟ้า ตัวตรวจับกำลังไฟฟ้า ตัวตรวจับอุณหภูมิ และตัวตรวจับการสั่นสะเทือนที่ตัวมอเตอร์ ซึ่งเป็นงานของผู้จัดทำในครั้งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 1

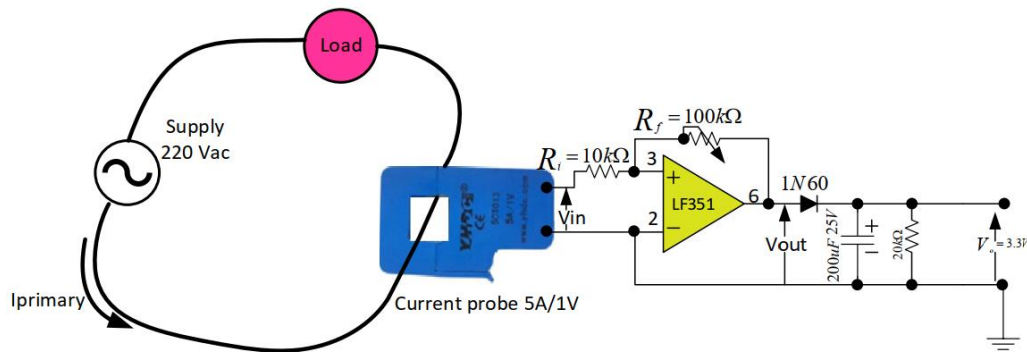


รูปที่ 1 โครงสร้างระบบการป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ด้วยฟีดของแพลตฟอร์มเน็ตพาย

3.1.1 การออกแบบตัวตรวจจับสนะไฟฟ้า [11]

ในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นวงจรตรวจจับสนะไฟฟ้า หม้อแปลงกระแสที่ใช้เป็นตัวตรวจจับสนะไฟฟ้าและได้ทำ

การออกแบบไปจนถึงรวบรวมข้อมูล I_{ac} และ V_{out} แล้วนำค่าไปออกแบบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการที่ 1



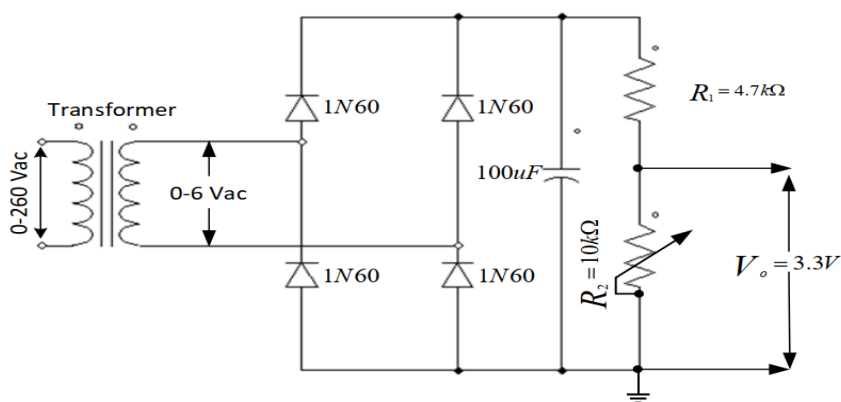
รูปที่ 2 วงจรตรวจจับสนะไฟฟ้า

$$I_{ac} = 9.98 \times 10^{-2} + 1.654 \times V_{dc} - 5.31 \times 10^{-2} \times V_{dc}^2 \quad (1)$$

3.1.2 การออกแบบตัวตรวจจับสนะแรงดันไฟฟ้า [11]

ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นวงจรตรวจจับสนะแรงดันไฟฟ้าและได้ทำการออกแบบไปจนถึงรวบรวมข้อมูล V_{ac} และ V_{out}

แล้วนำค่าไปออกแบบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการที่ 2



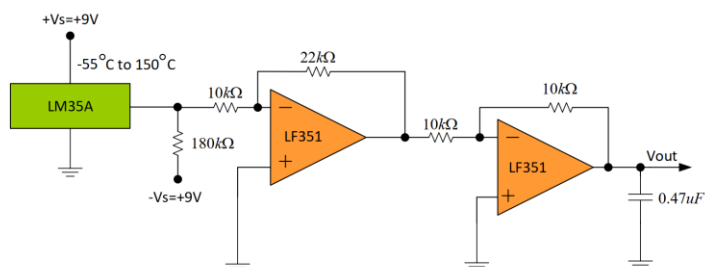
รูปที่ 3 วงจรตรวจจับสนะแรงดันไฟฟ้า

$$V_{ac} = 6.541 + 81.900 \times V_{dc} - 1.803 \times V_{dc}^2 \quad (2)$$

3.1.3 การออกแบบตัวตรวจวัดอุณหภูมิ [11]

วงจรตรวจวัดอุณหภูมิใช้ไอซีเบอร์ LM35A มีคุณสมบัติตรวจวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -55°C ไปจนถึง 150°C ส่งไวกายในตัวมอเตอร์โดยติดตั้งไว้ที่ขดลวด

โดยต่อร่วมกับออปแอมป์เบอร์ LF351 โดยต่อเป็นวงจรออปแอมป์วงจรขยายแบบกลับเฟสดังแสดงในรูปที่ 4

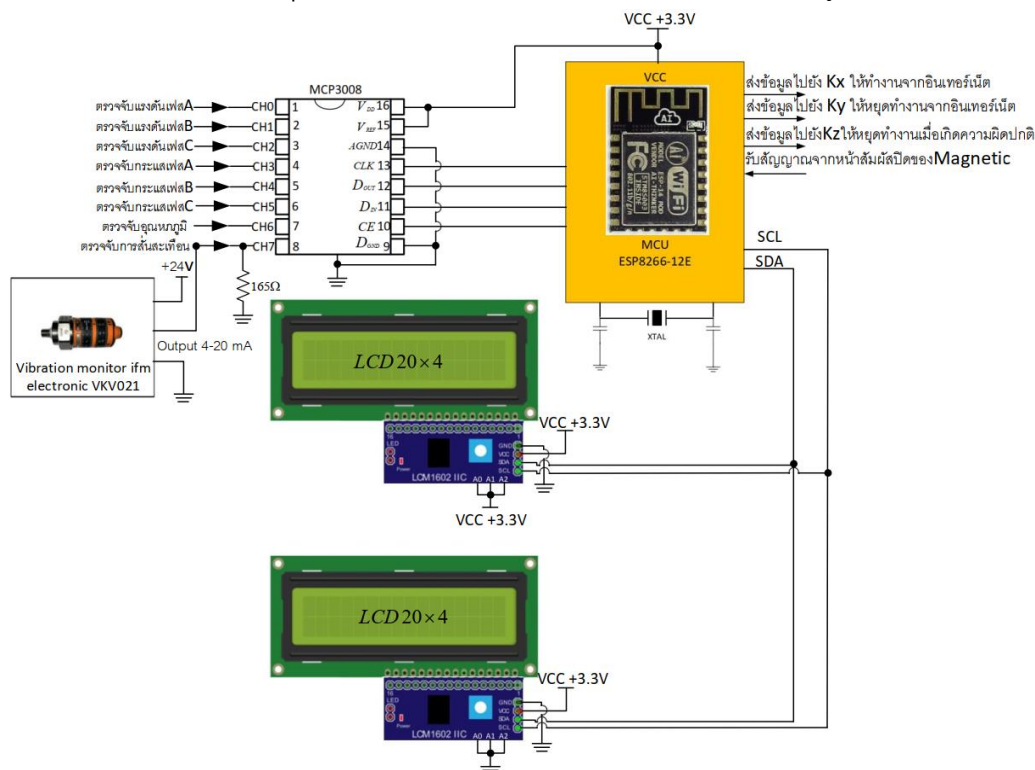


รูปที่ 4 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ (ใช้ IC LF351 เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิช่วง -55 ถึง 150 องศาเซลเซียส)

3.1.4 การออกแบบภาคประมวลผลและภาคแสดงผล [11]

ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในภาพรวม โดยอุปกรณ์ในส่วนของการภาคที่ใช้ในการประมวลผลใช้ Node MCU ESP8266 ต่อร่วมกับอุปกรณ์อินเทอร์เน็ต

(WIFI) และแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซี MCP 3008 และในส่วนของการแสดงผลใช้จอ LCD 20×4 โดยสามารถแสดงสถานะต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานดังแสดงในรูปที่ 5

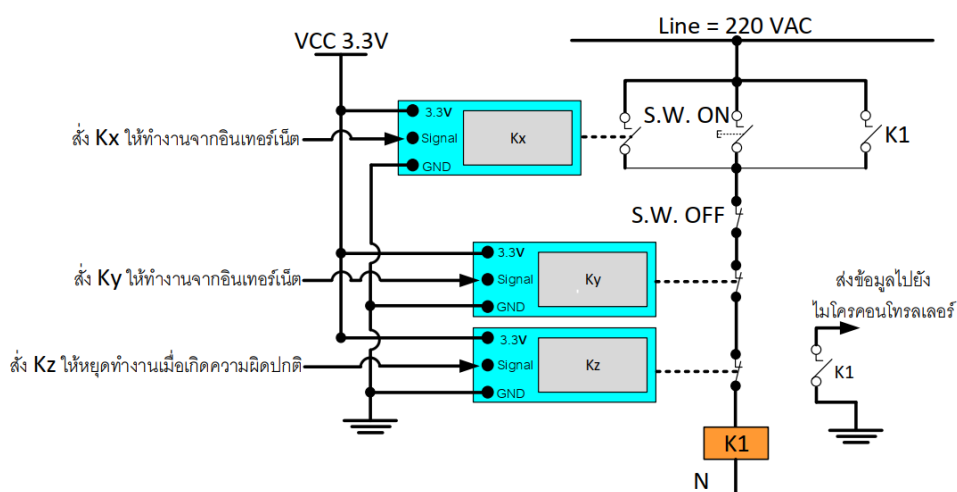


รูปที่ 5 การออกแบบอุปกรณ์การเชื่อมต่อ Node MCU การป้องกัน การประมวลผลและการแสดงผล

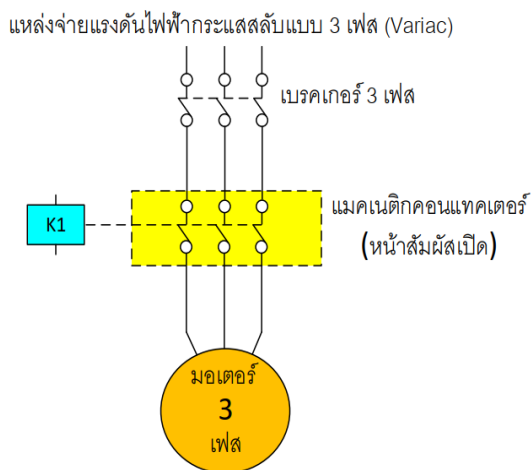
3.1.5 วงจรกำลังมอเตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์[11]

เริ่มต้นโดยกดสวิตช์ ON หรือกดปุ่ม SW ON ที่อยู่บน Free Board ของเน็ตพาย (รีเลย์ Kx ทำงาน) จะทำการส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ทำให้คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน หน้าสัมผัสหลักจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์เริ่มทำงานและคอนแทกเตอร์จะทำงานต่อไปแม้ว่าจะปล่อยมือออกจากสวิตช์ เนื่องจากหน้าสัมผัสช่วยของคอนแทกเตอร์ K1 แถวที่สอง (self holding contact or maintaining

contact) โดยทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ามายังคอยล์ของคอนแทกเตอร์ ในกรณีที่ต้องการให้หยุดการทำงานสามารถทำได้โดยการกดสวิตช์ OFF หรือกดปุ่ม SW OFF ที่อยู่บน Free Board ของเน็ตพาย (รีเลย์ Ky ทำงาน) จะทำให้หน้าสัมผัสถูกเปิดออกทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน ในกรณีที่เกิดสภาวะความผิดปกติจะมีสัญญาณถูกส่งไปยังรีเลย์ Kz ทำให้ K1 หยุดทำงาน มอเตอร์จะหยุดทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 วงจรส่วนควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 7 วงจรภาคกำลังมอเตอร์

3.1.7 การออกแบบการทำงานของ Node MCU[11]

ในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นผังโครงสร้างการทำงานของ Node ESP8266 โดยแปลงสัญญาณอนาล็อกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลทางด้านฝั่งอินพุตประกอบด้วย แรงดัน 3 เฟส กระแส 3 เฟส ตัววัดความเร็วรอบ ตัววัดอุณหภูมิ และตัววัดการสั่นสะเทือน และเอาต์พุตประกอบด้วย สถานะปกติ (normal) สถานะแรงดันสูงเกิน (Over voltage) สถานะอุณหภูมิสูงเกิน (Winding Temperature) สถานะการสั่นสะเทือนเกินพิกัด (Over Vibration) สถานะโหลดเกิน (Over Load) สถานะเฟสหาย (Single Phasing) สถานะแรงดันต่ำเกิน (Under Voltage) และสถานะแรงดันแต่ละเฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage) โดยถูกเชื่อมอยู่กับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย

สถานะปกติ

แรงดันเฟส 198 ถึง $242 V_{rms}$ ($\pm 10\%$) ของ $220 V_{rms}$ กระแส 0.5 ถึง $2.31 A_{rms}$ (กระแสขณะไม่มีโหลด ถึง 110%ของกระแสพิกัด) อุณหภูมิขดลวดไม่เกิน $120^{\circ}C$ เพื่อป้องกันความเสียหายในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ไม่เกิน $120^{\circ}C$

สถานะเฟสหาย

กระแสต่ำกว่า $0.2 A_{rms}$

สถานะแรงดันไม่สมดุล

เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีค่าไม่เกิน 5%(ในสถานะมาตรฐานสามารถที่ยอมรับได้ต่ำสุด)

$$\%V_{UB} = \frac{V_{maxdev}}{V_{avg}} \times 100 \quad (3)$$

$$V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TS}}{3} \quad (4)$$

เมื่อ V_{UB} = เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

V_{avg} = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส (V)

V_{maxdev} = แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสกับ V_{avg}

V_{RS}, V_{ST}, V_{TS} = แรงดันระหว่างเฟส (V)

สถานะแรงดันต่ำเกิน

แรงดันต่ำกว่า $198 V_{rms}$ ทั้ง 3 เฟส

สถานะแรงดันสูงเกิน

แรงดันสูงกว่า $242 V_{rms}$ ทั้ง 3 เฟส

สถานะโอเวอร์โหลด

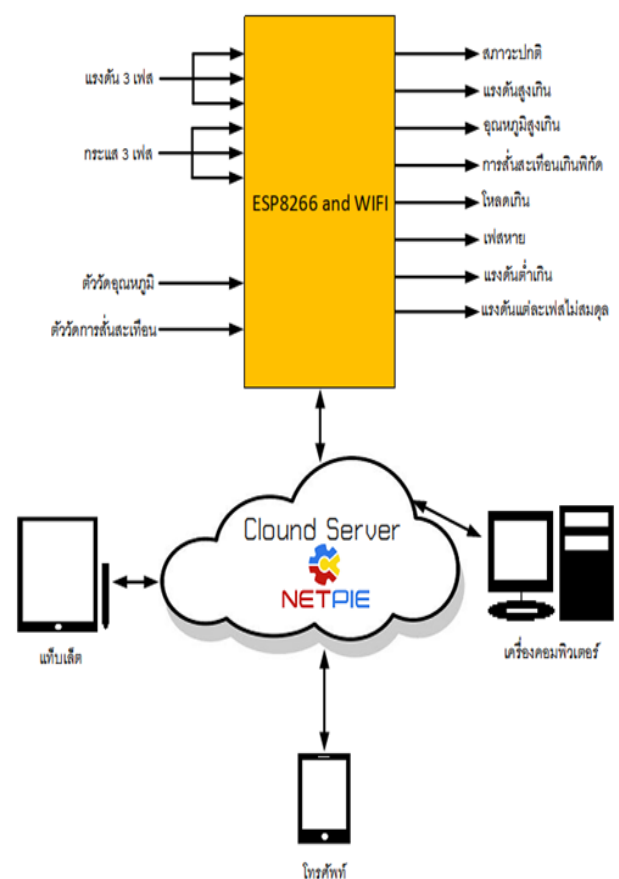
กระแสมากกว่า $2.31 A_{rms}$ เกิดจาก $2.1+10\%$

สถานะอุณหภูมิสูงเกิน

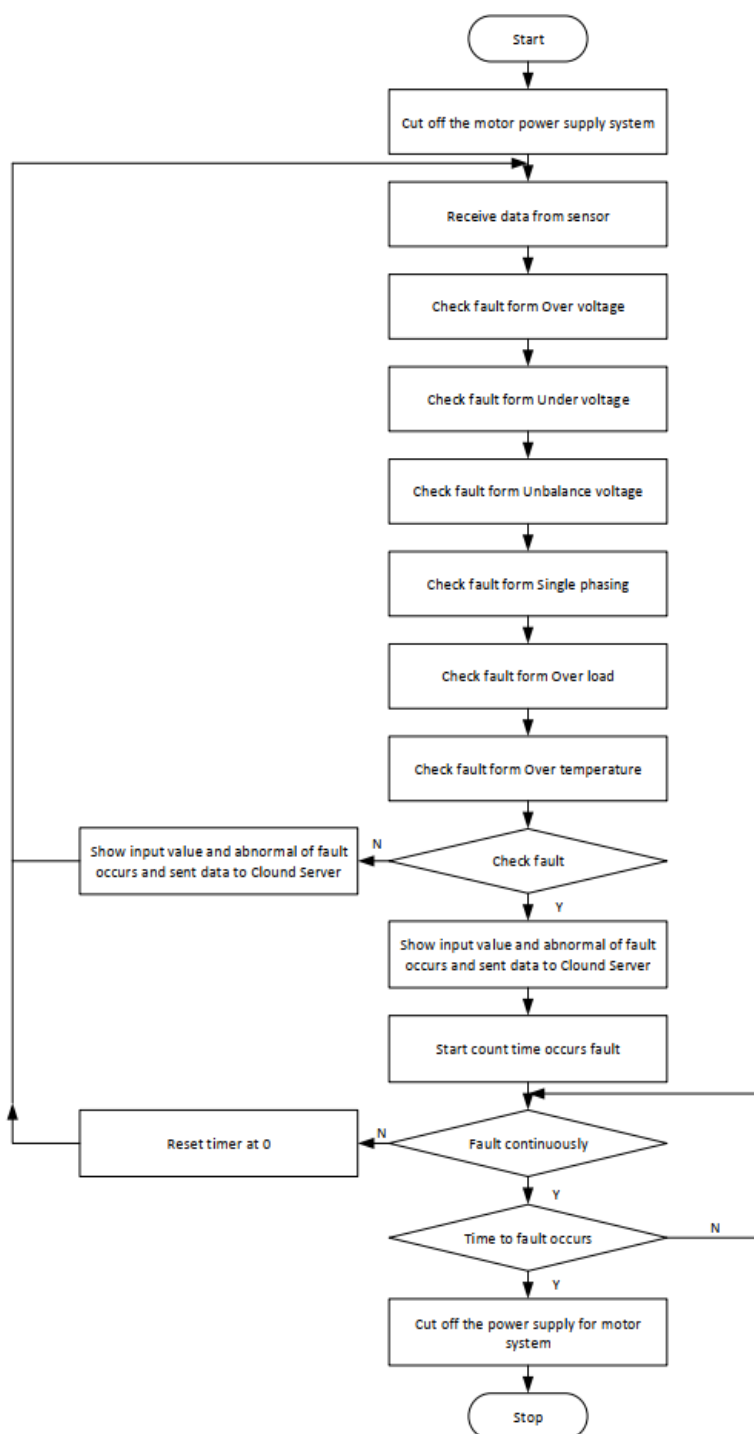
อุณหภูมิขดลวดมากกว่า $120^{\circ}C$

สถานะการสั่นสะเทือนมากเกินไป

การสั่นสะเทือนมากกว่า 4.5 mm/sec



รูปที่ 8 แสดงผังโครงสร้างการทำงานของ โหนด เอ็ม ซี ยู โดยเชื่อมตัวกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เน็ตพาย



รูปที่ 9 แผนผังการทำงานและออกแบบซอฟต์แวร์

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

มอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 4 Pole ขนาด 1 แรง แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 220/380 โวลต์ ความเร็วรอบ 1450 รอบต่อนาที กระแสเฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 แอมป์ขณะที่รับโหลดเต็มพิกัด ได้ทำการติดตั้งกับแท่นหลักโดยมีการทดลองดังนี้

-ติดตั้งมอเตอร์ทดสอบ เข้ากับทอมมิเตอร์

-ประกอบวงจรมอเตอร์

-ประกอบตัวเซนเซอร์ต่างๆ

-ทดสอบกรณีที่เป็นสภาวะปกติบันทึกค่าแรงดัน ค่ากระแส และถ่ายรูปหน้าต่างฟรีบอร์ดเนตพาย ของ คลาวด์เซิร์ฟเวอร์

-เปลี่ยนรูปแบบฟอลต์ กรณีต่างๆ ได้แก่ สภาวะเฟสหาย สภาวะแรงดันไม่สมดุล สภาวะแรงดันต่ำเกิน สภาวะแรงดันสูงเกิน สภาวะโอเวอร์โหลด สภาวะอุณหภูมิสูงเกิน และ สภาวะการสั่นสะเทือนมากเกินไป

- ทดลองรูปแบบติดตามและบันทึกข้อมูลด้วย Feed ของ NETPIE ในแต่ละเงื่อนไข



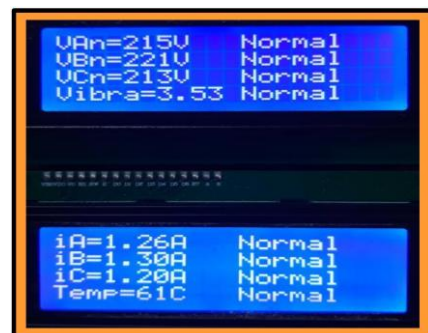
รูปที่ 10 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

4.ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 11-12 เป็นการแสดงสภาวะปกติและสภาวะการสั่นสะเทือนมากเกินไปด้วยจอ LCD ซึ่งจะขึ้นสถานะ Normal ในกรณีสภาวะปกติดังแสดงในรูปที่ 11

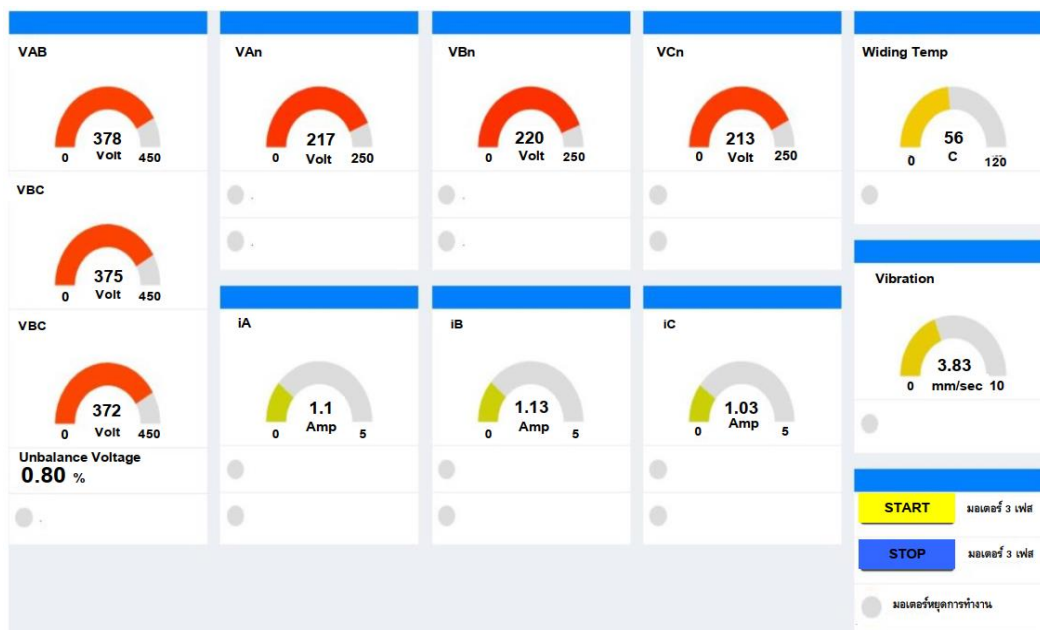
ส่วนในสภาวะผิดปกติที่เกิดการสั่นสะเทือนมากเกินไปแสดงสถานะจะแสดงข้อความ Vibration Over ดังแสดงในรูปที่ 12 ส่วนรูปที่ 13 และ 20 เป็นหน้าต่างของฟรีบอร์ดเนตพาย สามารถดูได้ทั้งค่าของแรงดันแต่ละเฟส V_{An}, V_{Bn}, V_{Cn} แรงดันระหว่างเฟส V_{AB}, V_{BC}, V_{CA} กระแสแต่ละเฟส i_A, i_B, i_C อุณหภูมิที่ฝังอยู่ในตัวมอเตอร์ (Winding Temp) และการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (Vibration) ขณะมอเตอร์ทำงานซึ่งเป็นงานวิจัยที่นำเสนอใหม่



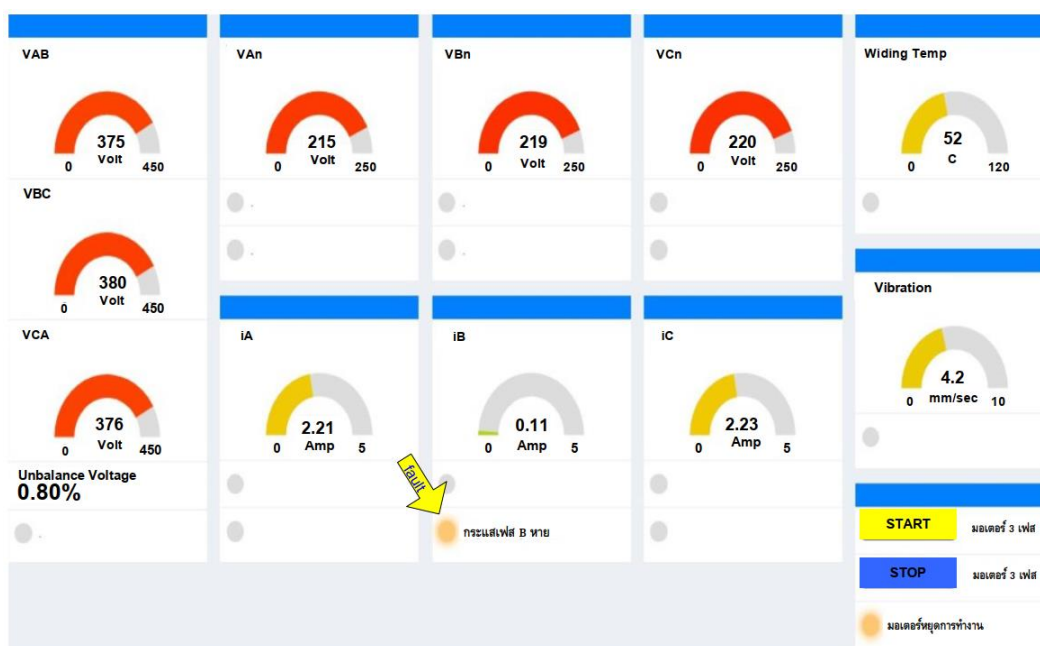
รูปที่ 11 แสดงผลสภาวะปกติบนจอ LCD



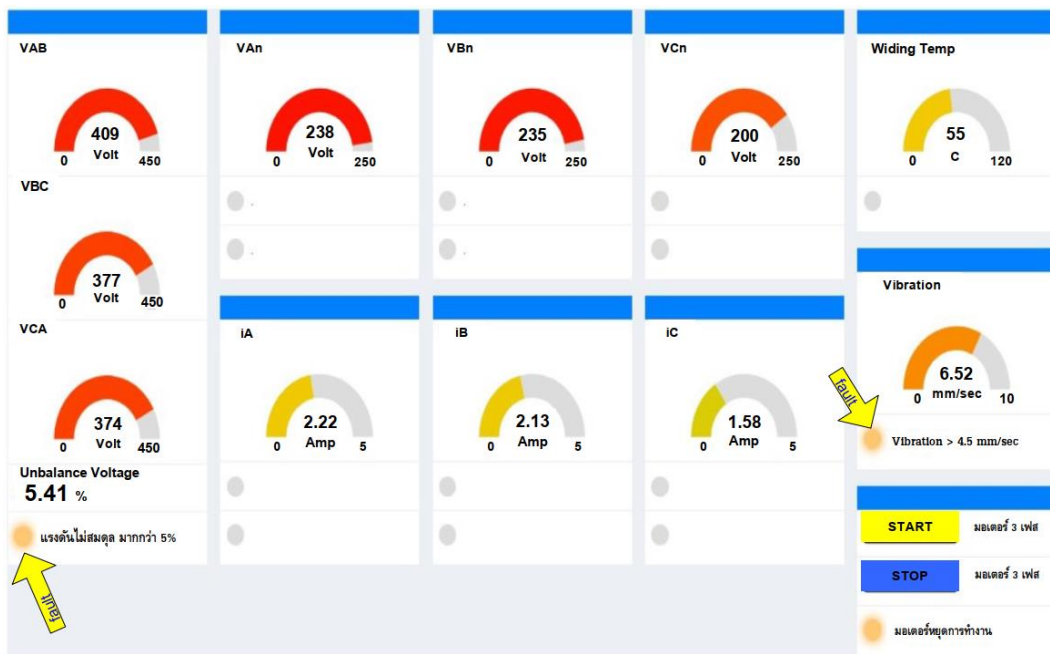
รูปที่ 12 แสดงผลสภาวะเกิดการสั่นผิดปกติบนจอ LCD



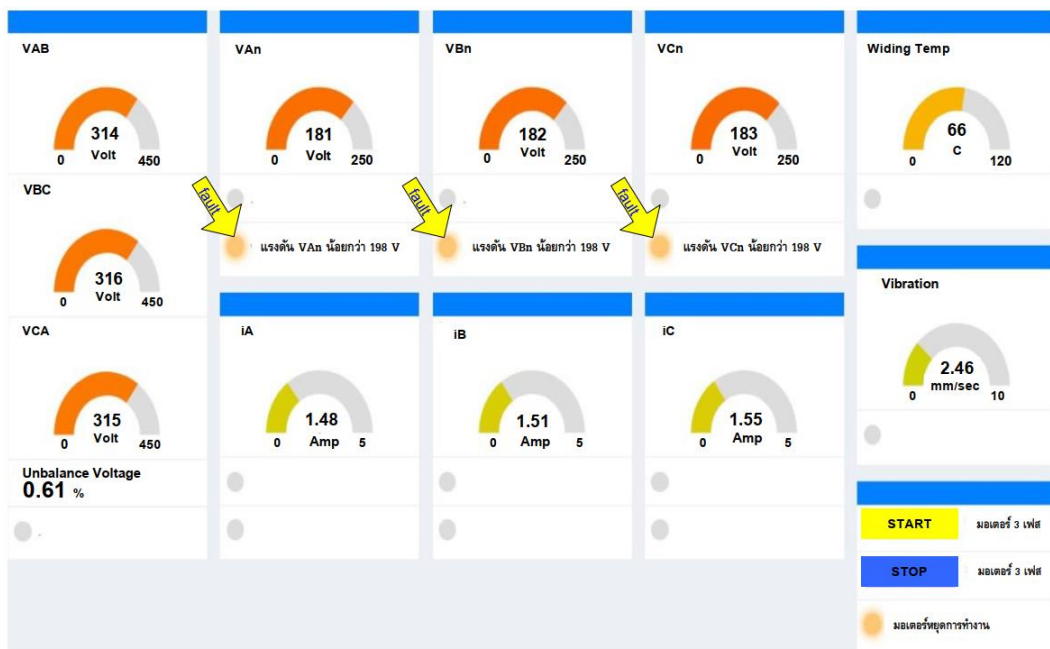
รูปที่ 13 การแสดงผลในสภาวะปกติ



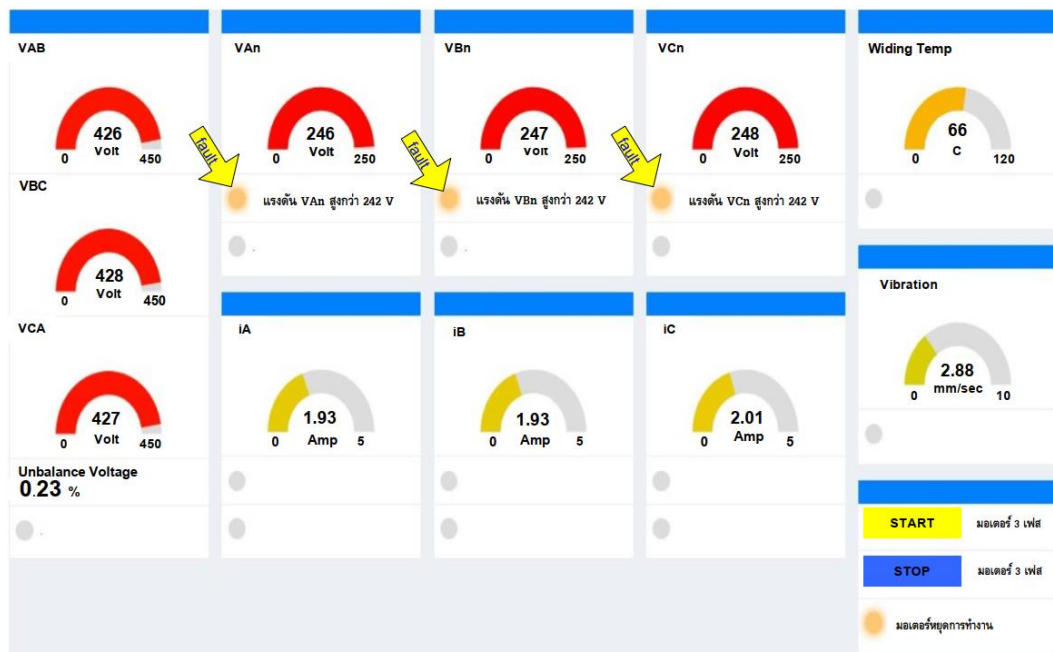
รูปที่ 14 การแสดงผลในสภาวะเฟสหาย



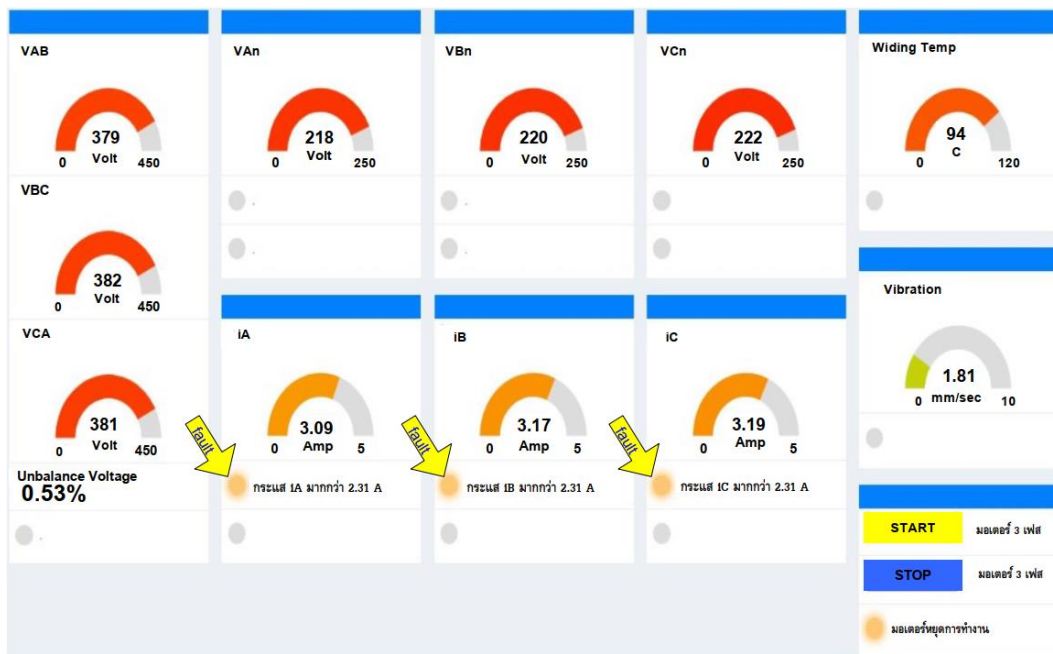
รูปที่ 15 การแสดงผลในสภาวะแรงดันไม่สมดุล



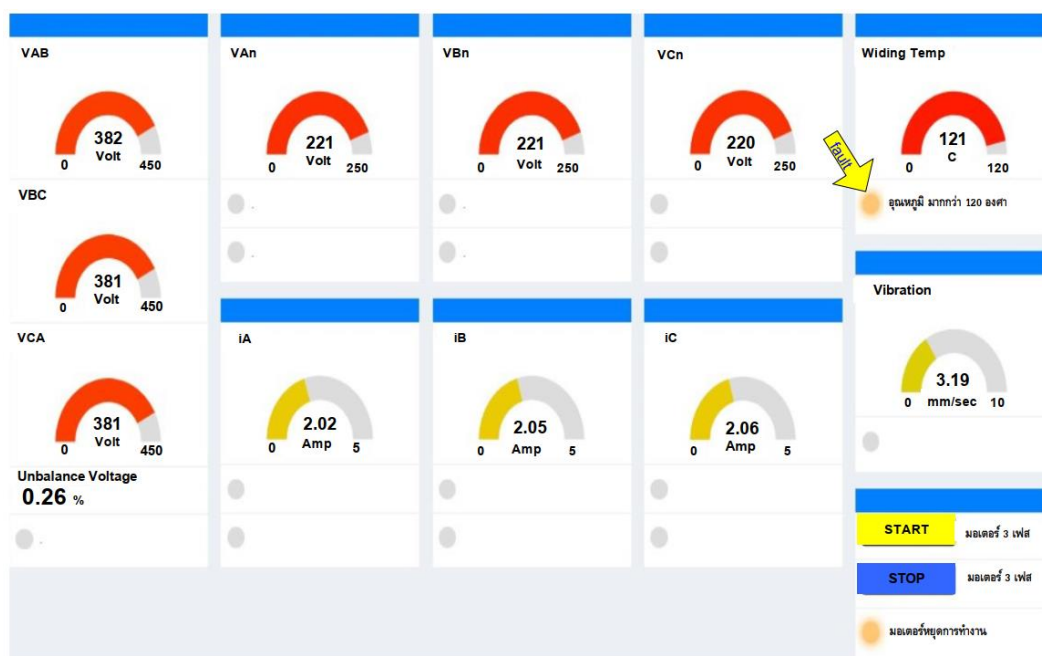
รูปที่ 16 การแสดงผลในสภาวะแรงดันต่ำเกิน



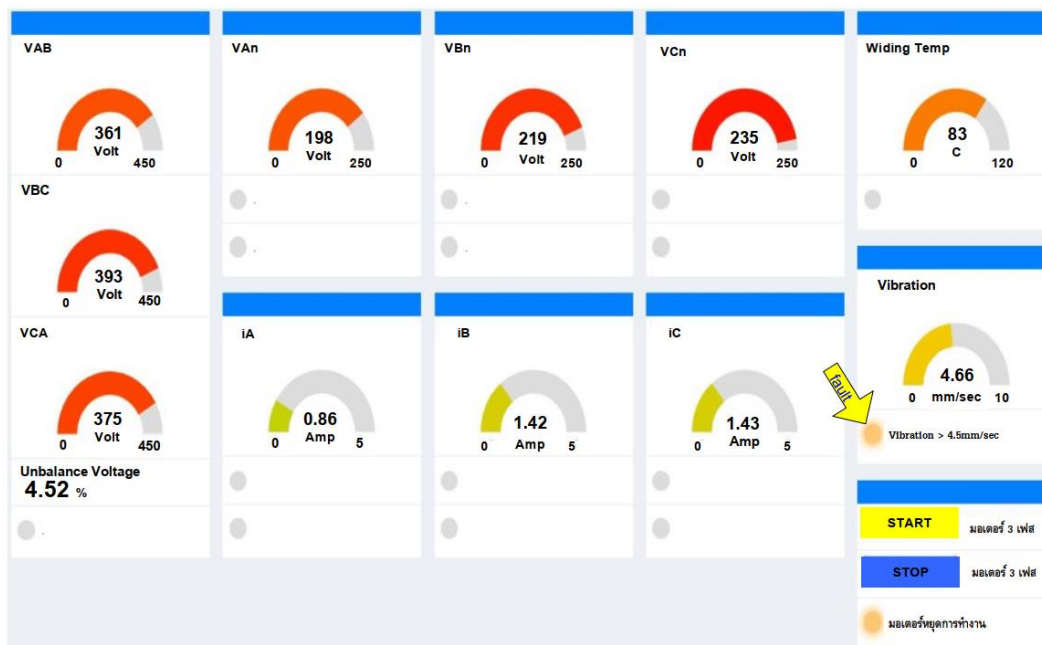
รูปที่ 17 การแสดงผลในสภาวะแรงดันสูงเกิน



รูปที่ 18 การแสดงผลในสภาวะโอเวอร์โหลด



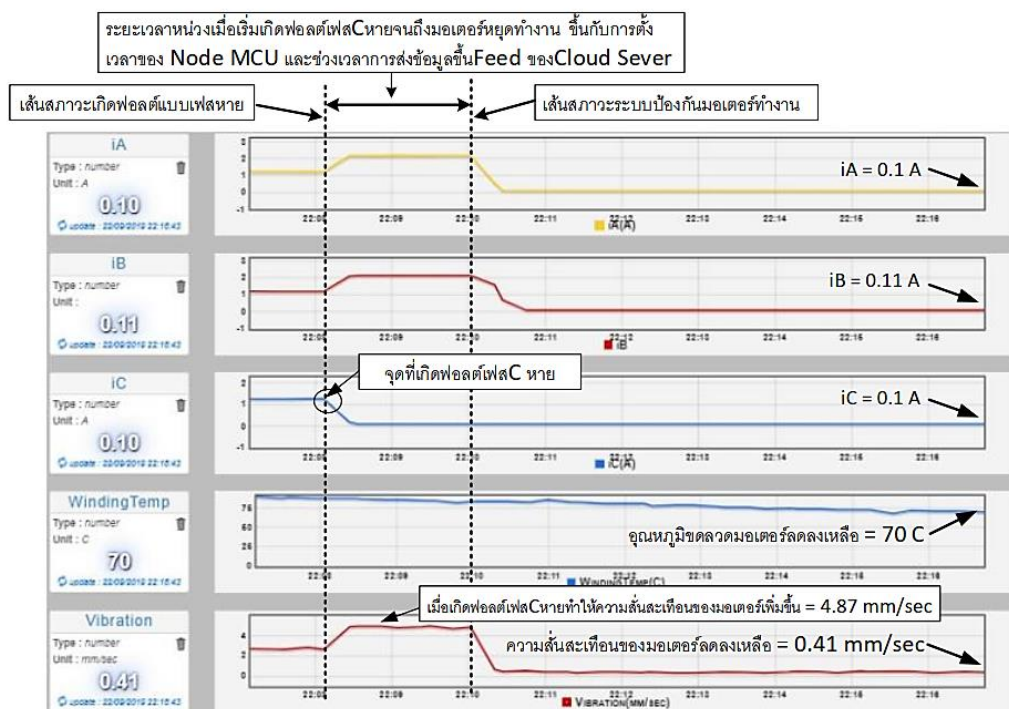
รูปที่ 19 การแสดงผลในสภาวะอุณหภูมิสูงเกิน



รูปที่ 20 การแสดงผลในสภาวะการสั่นสะเทือนมากเกินไป



รูปที่ 21 การบันทึกค่าสถานะต่างๆด้วยแพลตฟอร์มเน็ตพายในสภาวะปกติ



รูปที่ 22 การบันทึกค่าสถานะความผิดปกติด้วยแพลตฟอร์มเน็ตพาย

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.2.1 สถานะปกติ

ในรูปที่ 13 การแสดงข้อความบน free board เน็ตพาย ซึ่งแสดงแรงดันของแต่ละเฟส แรงดันระหว่างเฟส กระแสแต่ละเฟส อุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน ในช่วงปกติตลอดช่วงการทำงาน

4.2.2 สถานะเฟสหาย

ในรูปที่ 14 การแสดงข้อความบน free board เน็ตพาย สังเกตได้ว่ากระแส i_A มีค่า 2.21 แอมป์ i_B มีค่า 0.11 แอมป์ i_C มีค่า 2.23 แอมป์ ซึ่งพิจารณาได้ว่ากระแส i_B มีค่าน้อยมาก (0.11A) เสมือน 0A ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจเกิดจากสายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ด้านหลังแมกเนติกเกิดขาด ไฟแสดงเตือนจึงทำงานตรงกระแสเฟส B และมอเตอร์หยุดทำงาน

4.2.3 การแสดงผลในสภาวะแรงดันไม่สมดุล

จากรูปที่ 15 การแสดงข้อความบน free board เน็ตพายแรงดัน V_{An} มีค่า 238V แรงดัน V_{Bn} มีค่า 235V และ V_{Cn} มีค่า 200V พิจารณาได้ว่าแรงดันเฟส A มีค่า 238V เฟส B มีค่า 235V เฟส C มีค่าเพียง 200V ซึ่งมีค่าห่างกับเฟส A และ B ทำให้แรงดันทั้งระบบไม่มีความเสถียรส่งผลให้ไฟแจ้งเตือนแรงดันไม่สมดุลทำงาน

4.2.4 การแสดงผลในสภาวะแรงดันต่ำเกิน

จากรูปที่ 16 การแสดงข้อความบน free board เน็ตพายสังเกตได้ว่าแรงดัน V_{An} , V_{Bn} , V_{Cn} โดยแรงดันแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่แรงดันมีค่าน้อยกว่า 198V คิดเป็น 10% ของ 220V ในอัตราส่วนที่ต่ำ โดยพิจารณาได้ว่าเป็นแรงดันที่ต่ำเกิน

4.2.5 การแสดงผลในสภาวะแรงดันสูงเกิน

จากรูปที่ 17 การแสดงข้อความบน free board นี้ติดพาส์สังเกตได้ว่าแรงดัน V_{An} , V_{Bn} , V_{Cn} โดยแรงดันแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันแต่แรงดันมีค่ามากกว่า 242V คิดเป็น 10% ของ 220V ในอัตราส่วนที่มากกว่า โดยพิจารณาได้ว่าเป็นแรงดันที่สูงเกิน

4.2.6 การแสดงผลในสภาวะอุณหภูมิสูงเกิน

ในรูปที่ 19 การแสดงข้อความบน ฟรีบอร์ดนี้ติดพาส์สังเกตได้ว่าแรงดันแต่ละเฟส V_{An} , V_{Bn} , V_{Cn} แรงดันเฟสต่อเฟส V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} และกระแสแต่ละเฟส i_A , i_B , i_C ทำงานอยู่ในเกณฑ์ปกติ สังเกตได้ที่อุณหภูมิสูง 121°C ในงานวิจัยได้ตั้งค่าอุณหภูมิไม่ให้เกิน 120°C ถ้าเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้มอเตอร์จะหยุดทำงานทันที (ซึ่งจำนวนมอเตอร์ตัวนี้ Class F ค่าอุณหภูมิสูงสุด 155°C)

4.2.7 สภาวะการสั่งสะเทือนเกิน

ในรูปที่ 20 กรณีที่เกิดสภาวะการสั่นสะเทือนเกินจะแสดงในรูปแบบของไฟแจ้งเตือนว่ามีเหตุการณ์ผิดปกติเมื่อมอเตอร์หยุดทำงานจะแสดงสถานะไฟแจ้งเตือนเช่นเดียวกัน ในรูปที่ 22 ยกตัวอย่างให้เห็นถึงการเกิดสภาวะความผิดปกติในเรื่องของกระแสเฟสใดเฟสหนึ่งหาย (Single Phasing) จากภาพสังเกตได้ว่ากระแสไฟฟ้าเฟส C หายส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเฟส A และ B มีค่ากระแสเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบให้ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มขึ้นสูงถึง 4.87 mm/sec โดยเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้(ค่าที่รับได้ไม่เกิน 4.5 mm/sec)

4.3 การติดตามและบันทึกผล

รูปที่ 18 การบันทึกค่าสถานะต่างๆ ด้วยแพลตฟอร์มเน็ตพายในสภาวะปกติในรูปได้เปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มภาระทางกลให้กับมอเตอร์ทำให้กระแสทั้ง 3 เฟสเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าต่างๆ ยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ มอเตอร์ยังสามารถทำงานได้ตามปกติ ในรูปที่ 19 ยกตัวอย่างให้เห็นถึงการเกิดสภาวะความผิดปกติในเรื่องของกระแสเฟสหาย จากรูปสังเกตได้

ว่ากระแสไฟฟ้าเฟส C หายส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเฟส A และ B มีค่ากระแสเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบให้ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มขึ้นสูงถึง 4.87 mm/sec โดยเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้ (ค่าที่รับได้ไม่เกิน 4.5 mm/sec) จนถึงระยะเวลาที่ตั้งค่าไว้ จากนั้นระบบควบคุมจะตัดการทำงานของแมกเนตที่ควบคุมมอเตอร์ออกทำให้กระแส i_A และ i_B มีค่าลดลง ส่งผลให้การสั่นสะเทือนลดลง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกบันทึกไว้ในคลาวเซอร์เวอร์ โดยสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ จะเป็นประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ วางแผน และป้องกันมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี

5.สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบและสร้างชุดการติดตามและป้องกันความผิดปกติต่างๆ ได้แก่ สภาวะเฟสหาย สภาวะแรงดันไม่สมดุล สภาวะแรงดันต่ำเกิน สภาวะแรงดันสูงเกิน สภาวะโอเวอร์โหลด สภาวะอุณหภูมิสูงเกิน และงานของผู้จัดทำคือสภาวะการสั่นสะเทือนเกิน ขณะมอเตอร์ทำงานด้วยแพลตฟอร์มของเน็ตพายจากผลการวิจัยระบบป้องกันและติดตามดังกล่าว สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ทุกกรณี ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การป้องกันการสั่นสะเทือนมากเกินไปสาเหตุเพราะความผิดปกติลักษณะดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง และส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง ซึ่งจากผลการทดสอบเมื่อการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มขึ้นสูงที่ 4.87 mm/sec ในช่วงระยะเวลาที่ตั้งไว้มอเตอร์จะหยุดการทำงานทันทีนอกจากนี้คลาวเซอร์เวอร์ของเน็ตพายสามารถแสดงข้อมูลที่แพลตฟอร์มเน็ตพายเพื่อดูข้อมูลในเวลาปัจจุบันหรือย้อนหลังผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ มือถือ แท็บเล็ต อื่นๆ ได้อีกด้วย งานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดโดยการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องจักรที่มีความไวต่อการสั่นสะเทือนเพื่อทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Electric Power Systems and Equipment Voltage Ratings (60 Hertz), ANSI C84.1-1995
- [2] A. von Jouanne, B. Banerjee, "Assessment of Voltage Unbalance," IEEE Transaction on Power Delivery, vol.16, no.4, pp.782-790, Oct. 2001.
- [3] P. Pillay, M. Manyage, "Loss of Life in Induction Machines Operating with Unbalanced Supplies," IEEE Transaction on Energy Conversion, vol.21, no.4, pp.813-822, Dec. 2006.
- [4] A. Boglietti, R. Bojoi, S. Rubino, M. Cossale, "Load Capability of Multiphase Machines Under Normal and Open-Phase Fault Conditions," IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), USA, 23-27Sept. 2018, pp. 242-247.
- [5] Bon-Gwan Gu, "Study of IPMSM Interturn Faults Part II: Online Fault Parameter Estimation," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no.10, pp.7214-7223, Oct. 2016.
- [6] E.L. Brancato "Estimation of Lifetime Expectancies of motor," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 8, no.3 pp.5-13, May-Jun. 1992.
- [7] I. Y. Onel, M. E. H. Benbouzid, "Induction Motor Bearing Failure Detection and Diagnosis: Park and Concordia Transform Approaches Comparative Study," IEEE International Electric Machines & Drivers Conference, vol. 13, no. 2, pp.257-262, Apr. 2008.
- [8] C. Verucchi, G. Bossio, J. Bossio, G. Acosta "Fault Detection in Gear Box with Induction Motors: an Experimental Study," IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 6, pp.2726-2731, Jun. 2016.
- [9] R. Bayindir, I. Colak, I. Sefa, A. Bektas, "Fault Detection and Protection of Induction Motors Using Sensors," IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 23, no.3, pp.734-741, Oct. 2008.
- [10] I. Colak, H. Celik, I. Sefa, S. Demirbas, "On Line Protection Systems for Induction Motors" Energy Conversion and Management, vol. 46, Issue 17, pp.2773-2786, Oct. 2005.
- [11] สิริวิช ทัดสวน ประสิทธิ์ สุขเสริม, "การพัฒนาการป้องกันฟอลต์และเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เนตของสรรพสิ่ง", วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 9 ฉบับที่ 2, พฤษภาคม-สิงหาคม. 2562. 105.(in Thai).
- [12] Wikipedia "มาตรฐานการวัดค่าความสั่นสะเทือน" Available: savemotor.com/article-th-87266-มาตรฐานการวัดค่าความสั่นสะเทือน+ISO+2372.html.

ประวัติผู้ประพันธ์:



กิตติภูมิ เรืองฤทธิ์ :สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.ไฟฟ้า)มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

งานวิจัยที่สนใจ คุณภาพกำลังไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ณัฐวุฒิ ชววนิช:สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาโท(M.Scไฟฟ้า)
มหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์
ปัจจุบันเป็นดำรงตำแหน่งผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า งานวิจัยที่

สนใจ พลังงานทดแทน ไฟฟ้าแรงสูง



เอกชัย มุจลินท์วิมุติ:สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาเอก
(วศ.ด.ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

งานวิจัยที่สนใจ ตัวจ่ายกำลังโหมคสวิตช์ การประยุกต์
ทฤษฎีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น การควบคุมแบบ
ดิจิทัล



เชิดชัย ประภาณวรัตน์:สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาเอก
(Ph.D.ไฟฟ้า)มหาวิทยาลัย
แมนเชสเตอร์ ปัจจุบันเป็น
อาจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า

งานวิจัยที่สนใจ พลังงานทดแทน การประยุกต์ใช้
พลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน